

Ez a könyv arról szól,
hogy a beton teherbírása
és tartóssága mely
feltételek mellett megfelelő.

Kausay: BETON

Kausay Tibor

BETON

A BETONSZABVÁNY NÉHÁNY FEJEZETÉNEK ÉRTELMEZÉSE



2013

MÉRNÖKI KAMARA NONPROFIT KFT.

DR. KAUSAY TIBOR

BETON

A BETONSZABVÁNY NÉHÁNY FEJEZETÉNEK ÉRTELMEZÉSE

– Oktatási és továbbképzési kiadvány –

A könyv nyomtatott példányai elfogytak
(2020. december)

Ön a könyv eredeti kéziratát látja,
amely a 2013 utáni változásokat
nem tartalmazza.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Budapest, 2013.

Szerző:

Dr. Kausay Tibor PhD.
okl. építőmérnök, okl. vasbetonépítési szakmérnök
műszaki tudomány kandidátusa
címzetes egyetemi tanár
MTA gróf Lónyay Menyhért-emlékérmes
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Lektorok:

Dr. Erdélyi Attila
okl. építőmérnök
műszaki tudomány kandidátusa
ny. egyetemi docens
fib Palotás-díjas
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

✞ Dr. Balázs György professor emeritus
okl. építőmérnök
műszaki tudomány doktora
Széchenyi-díjas
Budapest díszpolgára
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Dr. Balázs L. György PhD.
okl. építőmérnök, okl. mérnöki matematikai szakmérnök
műszaki tudomány kandidátusa
egyetemi tanár, tanszékvezető
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
fib Nemzetközi Betonszövetség elnöke

A könyv a
Mérnöki Kamara Nonprofit Kft.
kiadványa, amely a
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke
közreműködésével készült

A Magyar Mérnöki Kamarát
Dr. Kiss Jenő
okl. építészmérnök
műszaki tud. kandidátusa
címzetes egyetemi tanár
a Magyar Mérnöki Kamara Építési Tagozatának elnöke képviselte

ISBN 978-963-88358-4-0

Nyomtatta és kötötte: Mesterprint Kft. (13-0344).
Felelős vezető: Szita Lajos ügyvezető igazgató.

TARTALOMJEGYZÉK

In memoriam Professor Emeritus Dr. Balázs György

1. BEVEZETÉS

A beton anyagtana a beton tulajdonságaival foglalkozik, és talán nem túlzás, ha eredetét mintegy kétszázötven évvel ezelőttre tesszük. Az angol *John Smeaton* 1756-ban írta le, hogy a mészkő őrleményhez agyagot adva olyan keveréket készített, amely kiégetve, majd megőrölve és vízzel keverve víz alatt is megszilárdul, és a szilárdságát víz alatt is megtartja; e találmány alapján építette meg mész- és puccolán-tartalmú habarcs kötőanyaggal, gránitból az eddystonei tengeri világítótornyot.

A beton anyagtana tehát régi és folyamatosan fejlődő tudományág, amelynek eredményei az építőmunkában hasznosulnak, a sikeres építményeken kívül legkézzelfoghatóbban úgy, hogy beépülnek a szabványokba. A szabvány társadalmi eszköz, amely a kor színvonalának megfelelő műszaki megoldások kedvező, egységes gyakorlati alkalmazását kínálja. A szabvány is folyamatosan változik, mert nem csak az adott tudományág fejlődését, hanem a társadalmi-gazdasági körülmények változását is követnie kell. A társadalomban és a gazdaságban a XX.-XXI. századforduló táján nagy változás következett be, és ez a szabványosításra is hatással volt: a magyar nemzeti szabványokat jórészt az európai szabványok váltották fel.

A szabványokon kívül szükség van olyan segédletekre, műszaki előírásokra, illetve irányelvekre, szabvány alkalmazási magyarázatokra, vagy akár példatárakra, amelyek a napi betonépítési feladatokban segítik az építési folyamat résztvevőit, a beruházókat (megrendelőket, vásárlókat), tervezőket, gyártókat, építőket (kivitelezőket), műszaki ellenőröket, laboratóriumi kutatókat, amilyen szabályozási iratra számos osztrák, német, brit stb. példa található.

Ezért gondolt a Magyar Mérnöki Kamara és a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék e könyv megírására, nevezetesen arra, hogy e könyvben megvizsgáljuk: a mai társadalmi-gazdasági viszonyokat is kifejező európai szabványok miként kezelik a beton-anyagtani ismereteket, és nemzeti szempontjaink ebben az új szabványrendszerben miként érvényesíthetők. Mindezek összefoglalása azért fontos, mert a betonszabványok alkalmazása nélkül jó minőségű és tartós betont eredményező, üzletileg is sikeres építőmunka nem végezhető, és a szabványok helyes alkalmazása azok tartalmi hátterét képező beton-anyagtani törvényszerűségek ismerete nélkül elképzelhetetlen.

A könyv szándékunk szerint a tudomány jelenlegi állapotát tükrözi, és abban a közvetített ismeretek – beleértve a táblázatokat és ábrákat is – forrását minden esetben megjelöltük.

E mérnökkamarai könyv nem öleli fel a beton teljes anyagtanát, hanem a beton, mint félkész termék legfontosabb – a szabványos betonjellel megnevezett – termékminősítő tulajdonságai és a beton alkotóanyagainak ugyancsak termékminősítő sajátságai köréből meríti tartalmát, miközben egy később megírandó, átfogóbb, teljesebb betonanyagtani könyvnek csírája lehet.

Ez a könyv voltaképpen önképzőköri munkaként, és a mérnöktovábbképzés önképzésként is felfogható, mert a szó szoros értelmében vett számonkérés nem kíséri. Kétezer évvel ezelőtt írta a római filozófus, *Lucius Annaeus Seneca*: „Homines dum docent, discunt”, azaz „Tanítás közben az ember maga is tanul”. E latin bölcsmondás igazságtartalma hatványozott, ha a tanító és a tanuló egyazon, a saját magát továbbképező mérnökember.

A szerző köszönettel tartozik a könyv megjelenését támogató szervezeteknek és kollégáknak, így a Magyar Mérnöki Kamarának, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéknek, ezek vezetőinek és munkatársainak, a kiadónak, a nyomdának, és mindenek előtt a Lektoroknak, kiemelten *dr. Erdélyi Attila* ny. egyetemi docens úrnak, akinek a lektori munkát messze meghaladó kiegészítései és baráti tanácsai a könyv színvonalát nagymértékben emelték.

Budapest, 2013. március

Dr. Kausay Tibor

2. SZABVÁNYOSÍTÁS NAPJAINKBAN

1995-ig a magyar országos hatáskörű, állami szabványosítás rendszere többszintű volt, és a jogszabályokhoz hasonlóan – az ajánlott szabványok kivételével – a szabványok betartása is kötelezõ volt. A szabványrendszer többszintűségét a 42/1994 (III.25.) kormányrendelet szüntette meg. A nemzeti szabványosításról szóló 1995. évi XXVIII. törvény hatályba lépésével az állami Magyar Szabványügyi Hivatal független, önálló köztestületté alakult át, és felvette a *Magyar Szabványügyi Testület* (MSZT) nevet, a szabványok alkalmazása pedig önkéntessé vált.

A szabványok alkalmazásának önkéntessége nem szükségtelenséget, hanem azt jelenti, hogy a szerződő felek az alkalmazandó szabványokban vagy attól eltérő feltételekben maguk állapodhatnak meg. A nemzeti szabványosításról szóló 1995. évi XXVIII. törvény 6. §-a (figyelembe véve a mérésügyről szóló 1991. évi XLV. törvény és a nemzeti szabványosításról szóló 1995. évi XXVIII. törvény módosításáról szóló 2001. évi CXII. törvény 4. § (1) szakaszát) rögzíti, hogy egyrészt a nemzeti szabványok alkalmazása önkéntes, másrészt műszaki tartalmú jogszabály hivatkozhat olyan nemzeti szabványra, amelynek alkalmazásával az adott jogszabály vonatkozó követelményei is teljesülnek. Tehát a szabványok alkalmazása alapvetően önkéntes, amennyiben viszont a jogszabály által előírt szabványt nem alkalmazzuk, úgy a jogszabály sem érvényesül, így tehát mégis szükséges a szabvány alkalmazása, mely összhangban van a vonatkozó jogszabály előírásaival. Természetesen az adott szabványtól eltérő, más módon is biztosítható az adott műszaki követelmény teljesülése, ebben az esetben azonban a gyártónak, vagy a kivitelezőnek igazolnia kell, hogy az általa alkalmazott műszaki megoldás legalább azonos szintű biztonságot és minőséget eredményez, mint amelyet az adott szabvány megkövetel.

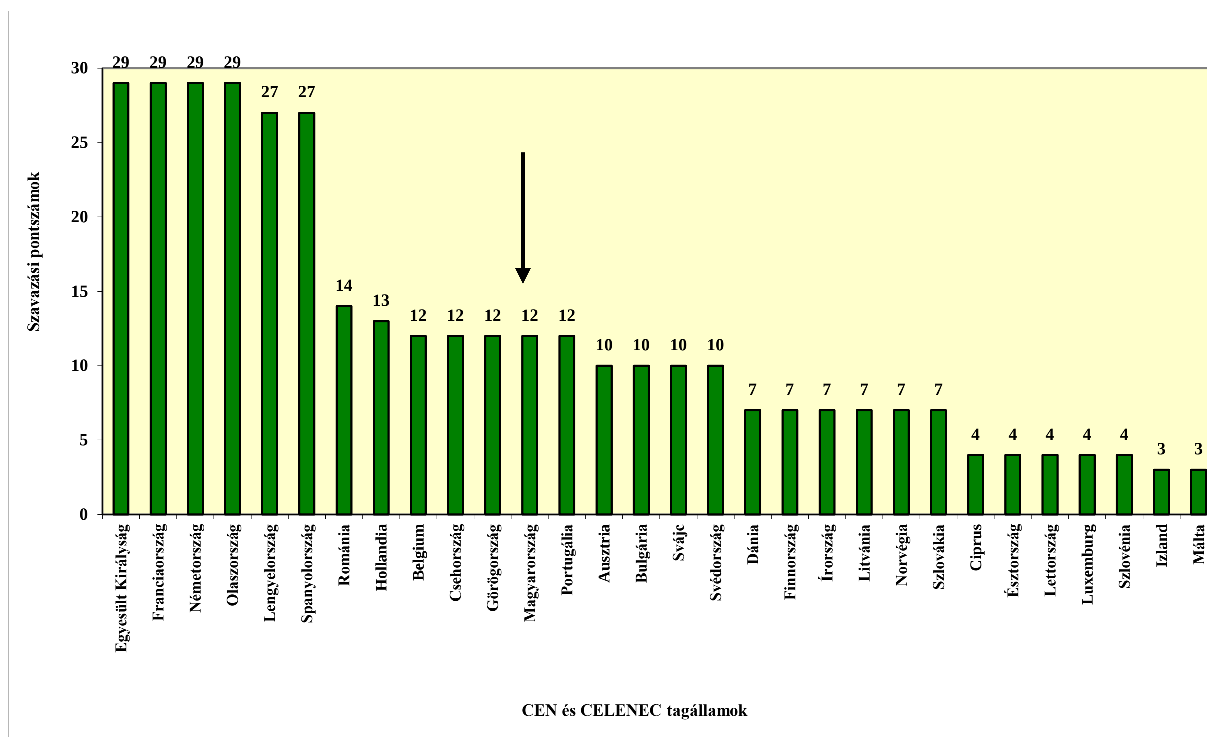
Az európai szabványok hazai bevezetésének története 1991-re nyúlik vissza, amikor is Magyarország a teljes jogú CEN tagság elnyerése érdekében elkezdte az EN európai szabványok honosítását. A teljes jogú CEN tagság elnyerésének feltétele az volt, hogy Magyarország az EN szabványok 80 %-át bevezesse. Ez a feltétel 2002. végére teljesült, így Magyarország 2003. január 1. óta a CEN teljes jogú tagja. Ez a tagság hazánkat arra kötelezi, hogy az európai szabványokat a megjelenést követő hat hónapon belül változatlan tartalommal honosítsa, és az azonos tárgyú, nemzeti szabványokat visszavonja. 2004 nyara a régi magyar beton, adalékanyag stb. termék- és vizsgálati szabványok tömeges visszavonásának az időszaka volt. A visszavont magyar betonos szabványok helyét a megfelelő új európai szabványok, esetleg nemzeti kiegészítéssel bővített új európai szabványok foglalták el. Érvényben vannak olyan magyar szabványok is, amelyeket nem vontak vissza, vagy amelyek újak, mert nincsenek európai megfelelőik, továbbá magyar műszaki előírások és műszaki irányelvek is.

A tömeges és gépies szabvány-visszavonásnak sok értékes nemzeti szabvány, illetve szabvány fejezet is áldozatul esett, de a visszavont nemzeti szabvány irodalomként vagy szerződéses megegyezés esetén akár teljesítési feltételként is használható.

A CEN-ben az európai szabványok és javaslatok sorsáról súlyozott szavazással döntenek. A CEN + CELENEC szavazási pontszámok – amelyek összege 365 –, az *1. ábra* szerintiek. Magyarország 12 pontja $100 \cdot 12/365 = 3{,}3$ százaléknak felel meg. A kidolgozott európai szabványt vagy javaslatot akkor fogadják el, ha:

- több ország szavaz mellette, mint ellene;
- a súlyozott szavazatok legalább 71 százaléka igenlő.

A szavazástól való tartózkodás nem számít szavazatnak.



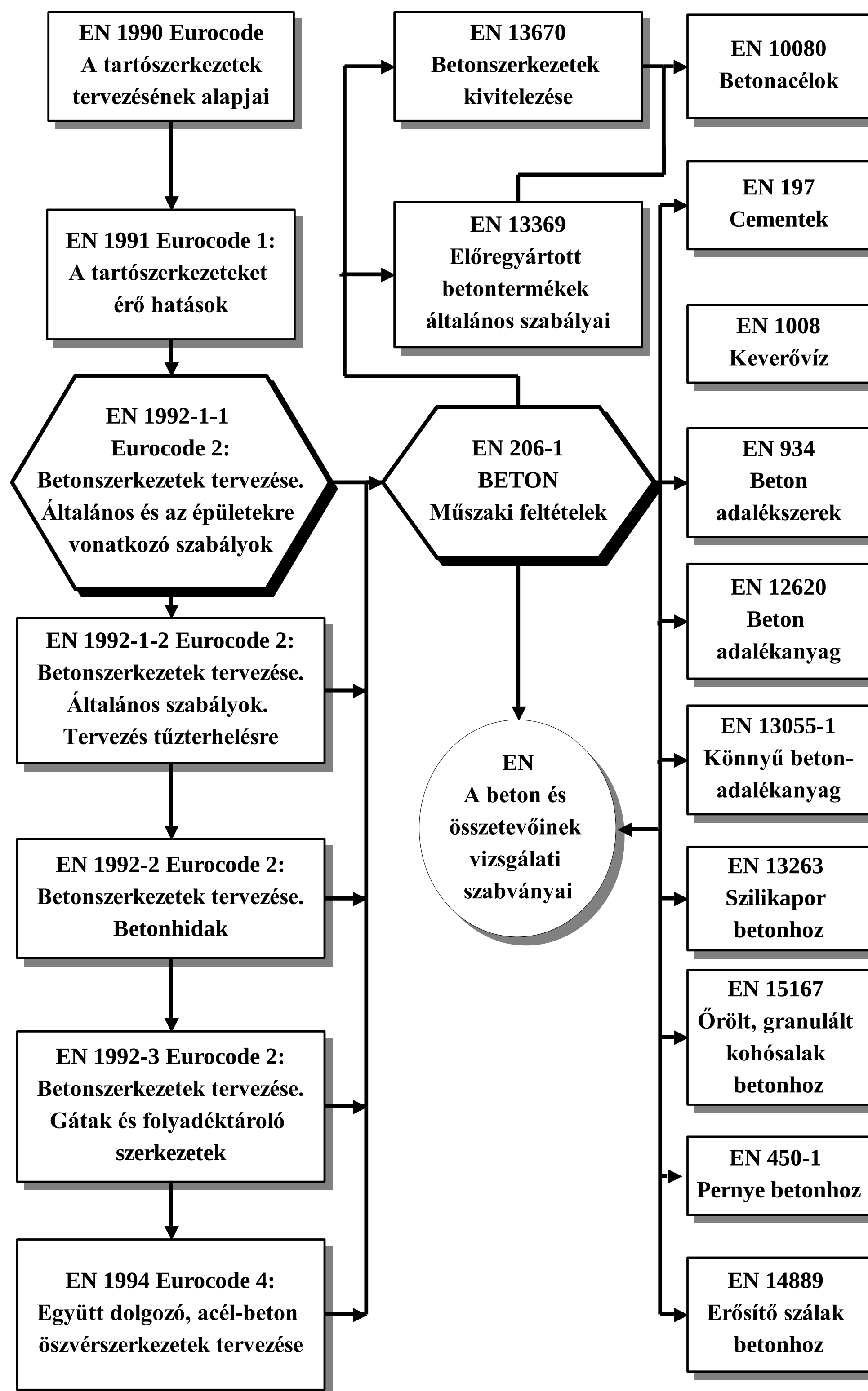
1. ábra: CEN és CELENEC tagállamok szavazási pontszámai a szabványosítási folyamatban

Az európai betonos szabványok kapcsolatrendszerét a *2. ábrában* tüntettük fel. A szabványok kapcsolatrendszerének csúcsán az Eurocode tervezési szabványok helyezkednek el, a következő lépcsőfokon a beton használati értékének (teljesítőképességének), készítésének és megfelelőségének műszaki feltételeit tartalmazó betonszabvány áll, ezt követik a termékszabványok, végül a vizsgálati szabványok zárják a sort.

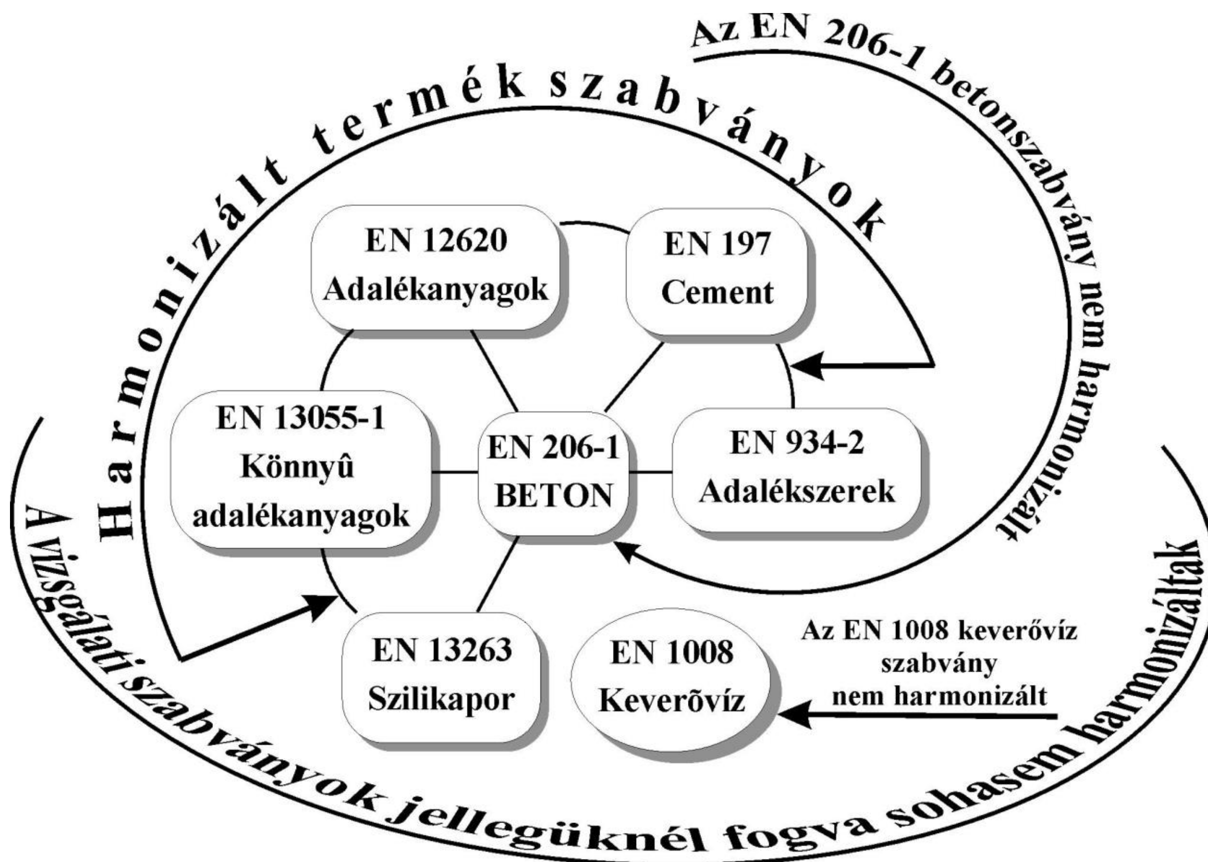
A betonösszetevők európai szabványai – a keverővíz szabványának kivételével –, tehát a kereskedelmi forgalomba kerülő termékek szabványai ún. „harmonizált" termékszabványok (*3. ábra*).

Az MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 betonszabvány és a prEN 206:2012 szabványtervezet nem harmonizált (*3. ábra*), mert érvénye a transzport betonra, építéshelyen készített betonra, előregyártó üzemben kevert betonra egyaránt kiterjed. Bár e betonok mindegyike termék, de az építéshelyen és az előregyártó üzemben előállított beton nem kerül forgalomba. Ennél fogva az európai betonszabvány sajátságai egyediek, az európai termékszabványokétól több vonatkozásban is eltérnek.

A harmonizált szabvány az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU számú rendeletének (CPR) – amely a 89/106/EGK és az azt módosító 93/68/EGK tanácsi irányelvet váltotta fel – 17. cikke szerint az építési termék alapvető jellemzők szerinti minőségének (teljesítményének) értékelésére szolgáló módszereket és feltételeket határozza meg. Harmonizált szabvány csak termékszabvány lehet. A harmonizált termékszabvány a szabvány szerves részét képező, az „alapvető" („lényeges") követelményekkel való kapcsolatot tárgyaló ZA. mellékletről ismerhető fel. Honosított európai termékszabvány csak akkor lehet harmonizált, ha az európai forrás szabvány harmonizált. Az „alapvető" („lényeges") követelményeket teljesítő építményekbe csak a harmonizált termékszabványok követelményét kielégítő, vagy európai műszaki értékeléssel rendelkező termékek építhetők be, és ezért az ilyen termékek megfelelő eljárást követően a CE-jellel megjelölhetők (*4. ábra*). A CE jelölést szabályosan viselő termék forgalmazását az EU tagországokban megtiltani, megakadályozni, korlátozni nem szabad.



2. ábra: Az európai beton tárgyú szabványok kapcsolatrendszere



3. ábra: Néhány harmonizált és nem harmonizált európai beton anyag szabvány

Az újabb honosított európai szabványok (például MSZ EN 933-1:2012, MSZ EN 12504-2:2013) első oldalán a következő figyelmeztetés olvasható: Európai műszaki tartalmú jogszabályhoz „harmonizált szabvány alkalmazása esetén el kell fogadni, hogy az alkalmazó eleget tett az európai jogszabály, illetve annak megfelelő magyar jogszabály azon követelményeinek, amelyekre a szabvány vonatkozik."

Az EN 206-1:2000 betonszabvány és a prEN 206:2012 szabványtervezet nem harmonizált, ezért a betont nem szabad CE-jellel ellátni.



4. ábra: CE-jel a harmonizált szabvánnyal, azaz harmonizált termékszabvánnyal szabályozott vagy európai műszaki értékeléssel rendelkező építési termékek – 305/2011/EU számú rendelet szerinti – megfelelőségét jelölő szimbólum a 765/2008/EK rendelet II. melléklete szerint

Az „alapvető követelmények" („alapkövetelmények") az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU számú rendeletében szereplő fogalom, amely az építményekre vonatkozik, és a szabványosítási megbízások és a harmonizált műszaki előírások kidolgozásának képezi az alapját. Az „alapvető" követelmények a 305/2011/EU számú rendelet I. melléklete szerint a következők:

1. Mechanikai szilárdság és állékonyság
2. Tűzbiztonság
3. Higiénia, egészség- és környezetvédelem
4. Biztonságos használat és akadálymentesség
5. Zajvédelem
6. Energiatakarékosság és hővédelem
7. Természeti erőforrások fenntartható használata

Az európai szabványosításba a magyar nemzeti szabványosító műszaki bizottságokon (MSZT/MB) keresztül lehet bekapcsolódni, akár

- előzetes, név szerinti bejelentés után a CEN és a CELENEC bármely műszaki bizottságának (Technical Committee) és albizottságának (Sub Committee) a munkájába való személyes részvétellel;
- a magyar nemzeti szabványosító (tükör) műszaki bizottság (MSZT/MB) tagjaként észrevételezéssel és szavazással;
- a már érvényes európai szabványhoz *nemzeti kiegészítés* készítésével.

A beton és az előregyártott beton termékek a „Beton és előregyártott beton termékek” nevű, MSZT/MB 107. számú magyar nemzeti szabványosító műszaki bizottság illetékességébe tartoznak.

A gyakorlatban a *nemzeti kiegészítésnek* formailag háromféle változata terjedt el:

1) A ***NAD*** *(**n**emzeti **a**lkalmazási **d**okumentum)* a kiegészítő nemzeti (nem iparági) szabályozás egyik lehetősége. Ez akkor alkalmazható, ha az európai szabvány szövege erre módot ad. A NAD önálló nemzeti (MSZ jelű) szabvány, önálló füzetbe kötik (ilyen például az MSZ 4798-1:2004 szabvány). Létrejöttét az Európai Bizottságnak be kell jelenti (notifikációs eljárás, notifikálás = hivatalos értesítés, közlés), ahol tudomásulvételéről szavaznak.

2) A hazai szempontok érvényesítésének másik lehetősége a ***nemzeti melléklet*** készítése, amely akkor csatolható az európai szabványhoz, ha az európai szabvány az előszavában utal a szükségességére. A nemzeti melléklet az európai szabvánnyal egybekötve, annak végén jelenik meg, nincs külön nemzeti jele (ilyen például az MSZ EN 1991-1-2:2005 szabvány). Az Európai Bizottságnak ezt is a tudtára kell adni (notifikálás).

3) Harmadik lehetőség, amikor a nemzeti melléklet az európai szabványhoz tartozó ***előszabványként*** jelenik meg. Jele: MSZE. Az MSZE előszabványt – fentiekkel ellentétben – nem kell a CEN-nek bejelenteni. Ha az európai szabványt jóváhagyó közleménnyel angol nyelven adják ki, akkor a magyar előszabványt külön, önálló füzetbe kötik. Ha az európai szabványt magyar nyelvre fordítva jelentetik meg, akkor az előszabványt az európai szabvánnyal egybekötve, annak végén szerepeltetik. A nemzeti előszabvány száma az európai szabvány száma elé írt 2-sel kezdődik. Például: Az MSZ EN 1992-1-2:2005 európai szabvány nemzeti előszabványa az MSZE 21992-1-2:2008 jelet és számot viseli.

Nemzeti kiegészítés kiadására az illetékes MSZ/MB műszaki bizottság javaslattétele után *kizárólag a Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) jogosult. Műszaki előírás* nem töltheti be az európai szabvány nemzeti kiegészítésének szerepét, mert a fenti három feltétel egyikét sem teljesíti, és a szabályozás más, alacsonyabb szintjét képviseli.

Új, teljesen önálló (nem nemzeti kiegészítés) magyar nemzeti szabvány (MSZ) kiadására a Magyar Szabványügyi Testületnél akkor van – előzetes CEN bejelentési kötelezettség és a tagországok szavazási eredményének figyelembevétele mellett – lehetőség, ha teljesen vagy közel azonos tárgyú európai szabvány nincs érvényben, vagy ilyen kidolgozása nincs folyamatban. Az új, teljesen önálló nemzeti szabvány érvénye addig tartható fenn, amíg a témakörben azt teljes egészében kiváltó európai szabvány meg nem jelenik. Ilyen például a szulfátálló cementek nemzeti szabványa (MSZ 4737-1:2002).

A CEN álláspontja, hogy a nemzeti kiegészítések – az egységes európai piac alapelvének megfelelően – általában nem tartalmazhatnak az európai szabványhoz képest párhuzamos, ellentmondó, ismétlődő szövegrészeket, kevesebb vagy több, enyhébb vagy szigorúbb követelményt. Ez az elv az egységes európai piac szempontjait a nemzeti műszaki, tartóssági,

biztonsági szempontok elé helyezi, anélkül, hogy nemzeti következményeit vállalná, ezért igen csak vitatható, és nem feltétlenül követendő. Az MSZ 4798-1 magyar nemzeti alkalmazási dokumentum esetén jogszerű lehetőség van az MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 európai betonszabványtól való eltérésre – mint ahogy ennek lehetőségét számos ország nemzeti alkalmazási dokumentuma is bizonyítja (például: DIN 1045-2:2008, ÖNORM B 4710-1:2007, NF EN 206-1 (P 18-325-1):2009) –, akár módszereinek, akár követelményeinek lazítása vagy szigorítása tekintetében is. Ezt a lehetőséget az MSZ 4798-1 nemzeti betonszabvány 2004. évi kiadása (MSZ 4798-1:2004) nem használta ki.

Más európai országokhoz hasonlóan Magyarországon is vannak érvényes és új kiadású műszaki előírások és irányelvek. Ezek érvénye belföldi, a termékekre vonatkozóak nem harmonizáltak, és létrejöttüket az MSZ nemzeti szabványokhoz hasonlóan be kell jelenteni (notifikálni) az Európai Bizottságnak és az európai tagországoknak, amelyek megvizsgálhatják, hogy azok nem minősülnek-e kereskedelmet akadályozó szabályozásnak. A termékek szabad áramlását erőltető kereskedelmi elvnek a minden áron való érvényesítése műszaki szempontból erősen kifogásolható.

Az útügyi tevékenységet a Magyar Útügyi Társaság (MAÚT) e-UT jelű (korábban UT) jelű útügyi műszaki előírásai szabályozzák, amelyek alkalmazása az országos közutak megrendelői, beruházói és közútkezelői számára mind megrendelőként, mind saját tevékenységükre nézve kötelező. Műszaki előírásra példa a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának BV-MI 01:2005 jelű beton- és vasbetonépítési műszaki irányelve, amely a bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék adalékanyagkénti újrahasznosításával történő betonkészítést hazánkban először szabályozta.

Összegezve: Az európai betonos szabványok elvileg egységes, zárt rendszert képeznek, egymásra épülnek, egymást nem nélkülözhetik. A szabványok kapcsolatrendszerének csúcsán az Eurocode tervezési szabványok helyezkednek el.

A termékszabványok jelentős hányada harmonizált; a harmonizált termékszabványok követelményét kielégítő termékek általában az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU számú rendeletben szereplő „alapvető” („lényeges”) követelményeket is kielégítik. Az „alapvető” („lényeges”) követelményeket teljesítő építményekbe csak a harmonizált termékszabványok követelményét kielégítő vagy európai műszaki értékeléssel rendelkező termékek építhetők be, és ezért az ilyen termékek megfelelő eljárást követően a CE-jellel megjelölhetők. Az EN 206-1 és így az MSZ 4798-1 betonszabvány sem harmonizált.

Az európai szabványok az egységes európai piac, a termékek szabad áramlása elvének érvényesítése jegyében készültek. Az európai szabványoknak megfelelő, de az adott alkalmazási körülmények között gyakorlatilag nem tartós, nem időálló termékek beépítésének felelőssége alól a szabványnak való megfelelés nem mentesít.

Az európai szabványokhoz bizonyos feltételek mellett nemzeti kiegészítések is tehetők (például MSZ 4798-1). Jogszerű lehetőség van arra, hogy az MSZ 4798-1 beton nemzeti alkalmazási dokumentum eltérjen az MSZ EN 206-1 európai betonszabványtól. Ezt az MSZ 4798-1:2004 nemzeti betonszabvány átdolgozásakor, – amelyben az EN 206-1 európai szabvány most készülő módosításait is figyelembe kell venni – más, jelentős betonépítési eredményekkel rendelkező országok példáját követve ki kell használni.

3. SZERKEZETEK TERVEZÉSI ÉLETTARTAMA

A beton, vasbeton, feszített vasbeton szerkezet és a készítéséhez használt beton akkor tartós, ha a terhelő erőkből és terhelő mozgásokból adódó igénybevételeket, valamint a környezeti hatásokat – üzemszerű használat és megfelelő karbantartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül – a tervezési élettartam alatt károsodás nélkül viseli.

A tervezési élettartam követelmény (előírás), míg a használati élettartam tényleges, tapasztalati érték. A tartós beton használati élettartama nagyobb, vagy legalább egyenlő kell legyen, mint a tervezési élettartam:

Használati élettartam ≥ Tervezési élettartam

Az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány élettartammal kapcsolatos meghatározásait is ekképp kell értelmezni.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány 2.1.3. szakasza a tervezési élettartamot az MSZ EN 1990:2011 szabvány 2.3. szakasza alapján írja elő, amely öt tervezési élettartam osztályt ad meg (*1. táblázat*).

1. táblázat: Tervezési élettartamok az MSZ EN 1990:2011 szabvány alapján

Tervezési élettartam osztály	Előírt tervezési élettartam, év	Példák
1.	10	Ideiglenes tartószerkezetek. Az olyan tartószerkezeteket vagy azok részeit, amelyek újrafelhasználás céljából szétszerelhetők, és várhatóan újra fel is fogják használni, nem helyes ideiglenes szerkezetnek tekinteni. Nem szabad ideiglenes tekinteni az olyan kiegészítő szerkezeteket (például autópálya melletti, közel álló zajvédő falelemeket), amelyek cseréje a forgalom leállításával jár.
2.	10-25	Cserélhető tartószerkezeti részek, például darupálya tartók, saruk.
3.	15-30	Mezőgazdasági és hasonló tartószerkezetek.
4.	50	Épületek tartószerkezetei és egyéb szokásos tartószerkezetek.
5.	100	Monumentális épületek tartószerkezetei, hidak és más építőmérnöki szerkezetek.

A beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek általában a 4. vagy 5. tervezési élettartam osztályba tartoznak, tehát az épületek és egyéb szokásos építmények tartószerkezeteit 50 év tervezési élettartamú, az ún. monumentális építmények (például hidak, útpályaszerkezetek, vízépítési műtárgyak, stb.) tartószerkezeteit 100 év tervezési élettartamú betonból kell készíteni. A beton a tervezési élettartam alatt nem mehet tönkre, ezért a beton tényleges, tapasztalati használati élettartama a 4. tervezési élettartam osztályú betonok esetén legalább 50 év, az 5. tervezési élettartam osztályú betonok esetén legalább 100 év kell legyen.

Összegezve: A beton tervezési élettartama épületek és egyéb szokásos tartószerkezetek esetén általában 50 év, monumentális építmények (műtárgyak) esetén 100 év. A beton nyomószilárdsági osztályát, környezeti osztályát, összetételét, a betonfedést stb. a tervezési élettartamnak megfelelően kell megtervezni és megvalósítani, a vizsgálati eredményeket a tervezési élettartam figyelembevételével kell értékelni. A tervezési élettartamot – ha az nem 50 év – külön is fel kell tüntetni a beton jelében.



Praktische Anleitung

zum

BÉTON-BAU

für

alle Zweige des Bauwesens

Nach eigenen Versuchen und Erfahrungen

von

Johann von Mihálik

k. k. Ministerial-Bau-Inspector, Ritter des Franz-Joseph-Ordens und thätigem Mitgliede des österreichischen Ingenieur-Vereins.

Mit 24 zinkographirten Tafeln in Folio.

Zweite Auflage.

Der Verfasser behält sich das Recht der Uebersetzung in andere Sprachen vor.

Berlin.
THEOBALD GRIEBEN.
1860.

4. ÉPÍTMÉNYEK SZERKEZETI OSZTÁLYA

Az építmény szerkezeti osztályát az erőtani méretezés során határozzák meg, jele a beton jelében nem szerepel, ismerete azonban ennek ellenére szükséges az építmény megvalósítói számára is, mert például az adalékanyag névleges legnagyobb megengedhető szemnagysága többek között a betonfedés függvénye, a betonfedés szükséges mértékéről pedig a szerkezeti osztályok adnak tájékoztatást. Ezért a tervezői műszaki leírásnak, a betontechnológiai előírásnak, illetve a beton megrendelő és szállítási dokumentumának a beton jelén kívül tartalmaznia kell a betont befogadó építmény szerkezeti osztályát.

A szerkezeti osztályok tulajdonképpen tartalom nélküliek, a beton fedés fokozatait jelölik, amelyre a tervezési élettartam is hatással van és fordítva.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának 4.4.N és 4.5.N táblázata hat szerkezeti osztályt tartalmaz (jelük: S1-S6). A szabvány 4.4.1.2. szakasza (5) bekezdésének megjegyzése az 50 éves tervezési élettartamú és a szabvány E. mellékletében (E1N táblázat) szereplő környezeti osztályokhoz tartozó nyomószilárdsági osztályú betonokat az S4 szerkezeti osztályba javasolja sorolni. A szabvány 4.3N táblázata a szerkezeti osztályok – az S4 besoroláshoz viszonyított – ajánlott módosításait tartalmazza különböző feltételek és tervezési élettartamok esetére. A *2. – 4. táblázatot* ennek alapján állítottuk össze.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány E. mellékletében (E1N táblázat) felsorolt környezeti osztályok és az azokhoz illesztett nyomószilárdsági osztályok lényegében megegyeznek az MSZ EN 206-1: 2000/A2:2005 szabvány szerinti környezeti osztályokkal és a hozzájuk tartozó legkisebb nyomószilárdsági osztályokkal. A *2. – 3. táblázatban* azokat a környezeti osztályokat is feltüntettük, amelyek az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.3N táblázatában nem szerepelnek, de hazánkban az MSZ 4798-1:2004 szabvány vagy a BV-MI 01:2005 beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv szerint használatosak, például XV2(H) vagy XF2(H).

A *2. táblázatban* az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály megyezik a környezeti károsító hatások miatt szükséges (*17. táblázatbeli*), ajánlott nyomószilárdsági osztállyal.

A *3. táblázatban* az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály két osztállyal nagyobb, mint a környezeti károsító hatások miatt szükséges (*17. táblázatbeli*), ajánlott nyomószilárdsági osztály, illetve az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály – nem kettővel, hanem csak – egy osztállyal nagyobb, mint a környezeti hatás miatt szükséges *17. táblázatbeli* nyomószilárdsági osztály, ha a friss beton 4 térfogat%-nál több légbuborékképző adalékszert tartalmaz.

A *3. táblázatban* az XC3 környezeti osztályhoz tartozó nyomószilárdsági feltételen az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.3N táblázatához képest (≥ C35/45) egy nyomószilárdsági osztállyal szigorítottunk (≥ C40/50), hogy a *17. táblázat* szerinti, ugyancsak az XC3 környezeti osztályhoz tartozó (≥ C30/37) és a *3. táblázat* szerinti – a szerkezeti osztály egy fokozattal való csökkentéséhez határfeltételt adó – nyomószilárdsági osztály (≥ C40/50) között itt is két osztálybeli különbség legyen, mint ahogy a *3. táblázat* többi oszlopa esetén is van.

A *3. táblázat* szerinti szerkezeti osztályok jele tovább nem csökkenthető, akkor sem, ha a *4. táblázat* alkalmazásának feltételei teljesülnek, és fordítva.

2. táblázat: Szerkezeti osztály (S…) a környezeti osztály és a beton nyomószilárdsági osztálya függvényében, ha *az erőtani számítás szerint szükséges* („erőtani") *nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerinti* és *a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű*. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakasza (5) bekezdésének megjegyzése és a 4.3N táblázata, valamint az NA3.1.2. szakasz alapján

Környezeti osztály	X0v(H)	XC1	XC2	XC3 – XC4	XD1 – XD2
Ha az „erőtani" nyomószilárdsági osztály, legalább	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S3				
50 év	S4				
100 év	S6				
Környezeti osztály	XD3	XF1	XF2	XF2(H)	XF3
Ha az „erőtani" nyomószilárdsági osztály, legalább	C35/45	C30/37	C25/30	C35/45	C30/37
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S3				
50 év	S4				
100 év	S6				
Környezeti osztály	XF3(H)	XF4	XA1 XA2	XA3	XK1(H) XK2(H)
Ha az „erőtani" nyomószilárdsági osztály, legalább	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37 C35/45
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S3				
50 év	S4				
100 év	S6				
Környezeti osztály	XK3(H)	XK4(H)	XK5(H)	XV1(H)	XV2(H) XV3(H)
Ha az „erőtani" nyomószilárdsági osztály, legalább	C40/50	C45/55	C50/60	C25/30	C30/37
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S3				
50 év	S4				
100 év	S6				

Megjegyzés: Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (5) bekezdésében a 4.3.N táblázathoz megjegyzik, hogy a kis vízáteresztőképesség érdekében alkalmazott különleges összetétel (cementfajta, víz-cement tényező, adalékanyag finomszemei) figyelembe vehető. Ez a megjegyzés a szabvány NA nemzeti mellékletének NA3.1.2 szakasza szerint értelmezhető, amelyben a szabvány 4.4.1.2. szakasza (5) bekezdésének 4.3.N táblázatára történő hivatkozással úgy rendelkeznek, hogy ha az alkalmazott keverék összetételéből adódóan a beton áteresztőképessége a szokásosnál kisebb, és ezt független vizsgálólaboratóriumban végzett vizsgálatok eredményei igazolják, akkor – a megrendelő vagy annak képviselője engedélyével, a vizsgálati eredmények alapján – a figyelembe vett szerkezeti osztály legfeljebb 2-vel csökkenthető.

3. táblázat: Szerkezeti osztály (S…) a környezeti osztály és a beton nyomószilárdsági osztálya függvényében, ha *az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb*, függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától, illetve, ha a *4 térfogat%-nál több légbuborékképző* adalékszert tartalmazó friss beton erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztálya – nem kettővel, hanem csak – eggyel nagyobb (táblázatunkban LB indexszel jelöltük), mint a környezeti osztály szerint szükséges nyomószilárdsági osztály. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.3N táblázata alapján

Környezeti osztály	X0v(H)	XC1	XC2	XC3 – XC4	XD1 – XD2
Ha az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály, legalább	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50 (C35/45$_{LB}$)	C40/50 (C35/45$_{LB}$)
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S2				
50 év	S3				
100 év	S5				
Környezeti osztály	XD3	XF1	XF2	XF2(H)	XF3
Ha az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály, legalább	C45/55 (C40/50$_{LB}$)	C40/50	C35/45	C45/55	C40/50
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S2				
50 év	S3				
100 év	S5				
Környezeti osztály	XF3(H)	XF4	XA1 XA2	XA3	XK1(H) XK2(H)
Ha az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály, legalább	C45/55	C40/50	C40/50 (C35/45$_{LB}$)	C45/55 (C40/50$_{LB}$)	C40/50 (C35/45$_{LB}$) C45/55 (C40/50$_{LB}$)
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S2				
50 év	S3				
100 év	S5				
Környezeti osztály	XK3(H)	XK4(H)	XK5(H)	XV1(H)	XV2(H) XV3(H)
Ha az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály, legalább	C50/60 (C45/55$_{LB}$)	C55/67	C60/75	C35/45 (C30/37$_{LB}$)	C40/50 (C35/45$_{LB}$)
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S2				
50 év	S3				
100 év	S5				
Megjegyzés: E táblázat szerinti szerkezeti osztályok jele tovább nem csökkenthető, akkor sem, ha a *4. táblázat* alkalmazásának feltételei teljesülnek					

4. táblázat: Szerkezeti osztály (S…) *kiemelt szintű minőségellenőrzés* (amikor a betongyártást, illetve betonszerkezet-gyártást, úgy mint a betonkészítést, betonacél szerelést, beton bedolgozást, tömörítést, utókezelést kiemelt szintű minőség-ellenőrzés kíséri) esetén, *vagy felületszerkezetek* esetén (amikor a vasalás helyzetét nem befolyásolja az építési módszer) függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.3N táblázatának utolsó két sora alapján, amelyben az egyébként ajánlott szerkezeti osztálynál (például 50 év tervezési élettartam esetén S4) kiemelt szintű minőségellenőrzés vagy felületszerkezetek esetén eggyel kisebb jelű szerkezeti osztály alkalmazását (például 50 év tervezési élettartam esetén S3) javasolják

Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban
< 50 év	S2
50 év	S3
100 év	S5
Megjegyzés: E táblázat szerinti szerkezeti osztály jele tovább nem csökkenthető, akkor sem, ha a *3. táblázat* alkalmazásának feltételei teljesülnek	

A betonacélokra előírt legkisebb betonfedéseket az *5. táblázatban,* a feszítőacélokra előírt legkisebb betonfedéseket a *6. táblázatban* mutatjuk be.

Összegezve: Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD I1. táblázata az 50 év tervezési élettartamú betonokat S3 szerkezeti osztályúnak tekinti, és ezzel feltételezi, hogy a betonszerkezet-gyártás (betonkészítés, betonacél szerelés, beton bedolgozás, tömörítés, utókezelés) kiemelt szintű minőségellenőrzés mellett történik, vagy hogy a beton felületszerkezetbe kerül (*4. táblázat*).

Ha a kiemelt szintű minőségellenőrzés nem biztosítható, és a beton tervezési élettartama 50 vagy 100 év, akkor az ennek megfelelő szerkezeti osztályt (*2. táblázat*), illetve betonfedést kell alkalmazni.

Ha a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű és a tervezési élettartam 50 év, akkor S4 (*2. táblázat*); ha a minőségellenőrzés kiemelt szintű és a tervezési élettartam 100 év, akkor S5 (*4. táblázat*) ha a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű és a tervezési élettartam 100 év, akkor S6 (*2. táblázat*) az alkalmazandó szerkezeti osztály.

Ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály (*17. táblázat*) feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb, függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától, illetve, ha az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály – nem kettővel, hanem csak – egy osztállyal nagyobb, mint a környezeti hatás miatt szükséges *17. táblázatbeli* nyomószilárdsági osztály, és ez utóbbi friss beton 4 térfogat%-nál több légbuborékképző adalékszert tartalmaz, akkor a *3. táblázat* szerinti szerkezeti osztályokat kell alkalmazni.

Felületszerkezet esetén függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától a *4. táblázat* szerkezeti osztályai alapján lehet a betonfedést felvenni.

5. BETONFEDÉS

5.1. ELŐÍRÁSOK A BETONFEDÉSRE

A betonfedést betontakarásnak is szokták nevezni.

A betonfedésről az utóbbi időben sokat beszélünk, mert előírt értéke jelentősen megnövekedett. Megfelelő – kellő tömörségű, vastagságú és repedésmentes – betonfedés alkalmazása a beépített szilárd beton, illetve a vasbeton tartósságának egyik alapvető feltétele. Alkalmazásának célja, hogy az acéltapadás révén az erőátadás megfelelő legyen, kellően védje az acélbetétet a korróziótól a tartósság érdekében, és megfelelő tűzbiztonságot eredményezzen.

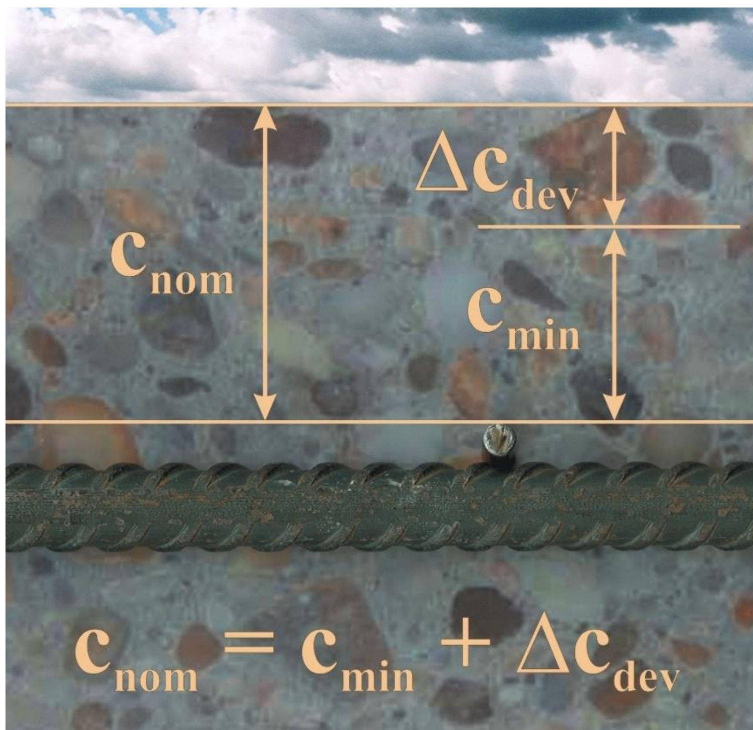
A betonfedés vasbeton vagy feszített vasbeton esetén a vasszerelés szélső pontja és a szerkezeti elem legközelebbi felülete közötti betonréteg vastagsága, illetve az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.1. szakasza (1)P pontjának megfogalmazásában „a vasalás (beleértve – ha vannak ilyenek – az összekötő vasalást, a kengyeleket és a kéregvasalást is) legközelebbi betonfelület felé eső felületének és a legközelebbi betonfelületnek a távolsága”.

Az acélbetét korrózióvédelmét illetően a betonfedés szerepe kettős. Egyrészt az acélbetét korrózióját okozó kloridok, vagy a karbonátosodás annál később éri el az acélbetétet, mennél vastagabb és mennél kevésbé áteresztő a betonfedés, másrészt az acélkorrózió annál lassúbb, mennél kevesebb oxigén jut az acélbetéthez, és mennél kisebb a beton elektrolitos vezetőképessége. Ezt a szerepet a betonfedés akkor tölti be, ha a kis víz-cement tényező, a jó beton bedolgozás és utókezelés folytán kellően tömör, és ha megfelelő vastagságú.

Ennek érdekében a szükséges betonfedést előírják. Az előírt névleges betonfedést nem csak be kell tartanunk, hanem a beton összetételének meghatározásához ismernünk is kell, mert az adalékanyag névleges legnagyobb szemnagysága (D_{max}) egyéb feltételek mellett legfeljebb a névleges betonfedés (c_{nom}) kétharmada lehet.

Az előírt névleges betonfedés (c_{nom}) az előírt legkisebb betonfedés (c_{min}) és a kötelező ráhagyás (Δc_{dev}, a „dev” index az eltérésre „deviation” utal) összege (*5. ábra*):

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$



5. ábra: Betonfedés

A c_{min} előírt legkisebb betonfedésre a tapadási erők biztonságos átadódása, az acélbetétek korrózióvédelme, a tűz elleni védelem érdekében van szükség (MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (1) bekezdése). Ugyanezen szabvány (2) bekezdése értelmében a c_{min} érték a tapadási követelmény miatt szükséges ($c_{min,b}$, a „b” index a tapadásra „bond” utal) és a környezeti hatások miatt a betonacél és feszítőacél korrózióvédelme (tartósság), valamint a tűzvédelem és a kopásállóság érdekében szükséges ($c_{min,dur}$, a „dur” index a tartósságra „durability” utal) legkisebb betonfedés közül a nagyobbik, de legalább 10 mm.

Más szóval: A c_{min} előírt legkisebb betonfedés az acélbetét tapadása miatt szükséges legkisebb betonfedés ($c_{min,b}$), a környezeti hatások miatt szükséges legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), illetve 10 mm közül a nagyobbik érték.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (3) bekezdése és a nemzeti melléklet ehhez tartozó NA3.1.1. szakasza szerint az acélbetét tapadási követelmény miatt szükséges legkisebb betonfedés ($c_{min,b}$) nem lehet kisebb, mint a betonacél átmérője vagy a betonacél-köteg átmérője, illetve előfeszített betétek alkalmazása esetén a sima felületű feszítőhuzal vagy a pászma névleges átmérőjének másfélszerese vagy a rovátkolt felületű feszítőhuzal átmérőjének két és félszerese. Tapadásos utófeszített betétek alkalmazása esetén a $c_{min,b}$ érték a kör keresztmetszetű kábelcsatorna külső átmérőjénél nagyobb vagy azzal egyenlő, de legfeljebb 80 mm legyen. Ha a kábel csatorna téglalap keresztmetszetű, amelynek oldalai a, illetve b hosszúságúak (és $a \leq b$), akkor a $c_{min,b}$ érték a $\max(a, b/2)$ értéknél nagyobb vagy azzal egyenlő, de legfeljebb 80 mm legyen. Ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 32 mm-nél nagyobb, ezt a betonfedési értéket célszerű 5 mm-rel megnövelni.

Feszítőbetétek esetén a lehorgonyzások legkisebb betonfedését általában a megfelelő európai műszaki engedély szerint kell biztosítani, olvasható az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (4) bekezdése alatt. Az európai műszaki engedély (ETA) szerepét az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU számú rendeletének értelmében napjainkban az európai műszaki értékelés tölti be.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (5) bekezdése a környezeti hatások miatt a betonacél korrózióvédelme érdekében szükséges ($c_{min,dur}$) legkisebb betonfedéseket a különböző környezeti osztályokra a szerkezeti osztályok függvényében adja meg. A szabvány 4.4N táblázatában a betonacélok esetén, a 4.5N táblázatában a feszítőacélok esetén alkalmazandó legkisebb betonfedések találhatók. Az előírt legkisebb betonfedéseket az *5.* és *6. táblázatban* mutatjuk be, amelyek utolsó két oszlopában az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4N és 4.5N táblázatában nem szereplő, de hazánkban használatos környezeti osztályokhoz tartozó ajánlott betonfedéseket is feltüntettük. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (5) bekezdésével kapcsolatban a nemzeti melléklet NA3.1.2. szakaszában hangsúlyozzák, hogy az XA1-XA3 környezeti osztályok esetén a $c_{min,dur}$ értékét a környezet agresszivitásától függően egyedileg is fel szabad venni.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (7) bekezdéséhez a nemzeti melléklet NA3.1.4. szakasza hozzáfűzi, hogy korrózióálló acélok alkalmazása esetén a legkisebb betonfedést csökkentő $\Delta c_{dur,st}$ (a „st” index a rozsdamentes acélra „stainless steel” utal) összetevő értékét $\Delta c_{dur,st}$ = 5 mm-re kell felvenni.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (8) bekezdéséhez kapcsolódik a nemzeti melléklet NA3.1.5. szakasza, amely szerint a bevonattal ellátott beton legkisebb betonfedését a bevonat típusától és vastagságától függően $\Delta c_{dur,add}$ (az „add” index a kiegészítő védelemre „additional protection” utal) értékkel szabad csökkenteni, de a csökkentés legfeljebb 20 mm lehet, és a csökkentés indokoltságát független laboratórium vizsgálati eredményeivel kell igazolni.

5. táblázat: Az előírt legkisebb betonfedések ($c_{min,dur}$) külön védelemmel el nem látott, MSZ EN 10080:2005 szerinti betonacélok esetén az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4N táblázata alapján

Szerkezeti osztály jele	Környezeti osztály								
	X0	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3	XF1–XF4 XA1–XA3 XV1(H)– –XV3(H) XF2(H), XF3(H)	XK1(H)– –XK5(H)
	Előírt legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), mm								
S1	10	10	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	10	15	20	25	30	35	40	45
S3	10	10	20	25	30	35	40	45	50
S4	10	15	25	30	35	40	45	50	55
S5	15	20	30	35	40	45	50	55	60
S6	20	25	35	40	45	50	55	60	65

6. táblázat: Az előírt legkisebb betonfedések ($c_{min,dur}$) feszítőacélok esetén az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.5N táblázata alapján

Szerkezeti osztály jele	Környezeti osztály								
	X0	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3	XF1–XF4 XA1–XA3 XV1(H)– –XV3(H) XF2(H), XF3(H)	XK1(H)– –XK5(H)
	Előírt legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), mm								
S1	10	15	20	25	30	35	40	45	50
S2	10	15	25	30	35	40	45	50	55
S3	10	20	30	35	40	45	50	55	60
S4	10	25	35	40	45	50	55	60	65
S5	15	30	40	45	50	55	60	65	70
S6	20	35	45	50	55	60	65	70	75

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (9) bekezdése szerint, ha a helyszíni betont előregyártott vagy helyszíni betonelemre betonozzák, akkor az érintkezési felülettől mért legkisebb betonfedést ($c_{min,b}$) a tapadási követelménynek megfelelő értékig (tehát az acélbetét átmérőjéig stb., lásd a szabvány 4.4.1.2. szakaszának (3) bekezdését és a nemzeti melléklet ehhez tartozó NA3.1.1. szakaszát) csökkenteni lehet, ha a beton szilárdsági osztálya legalább C25/30, az érintkezési felület kültéri környezeti hatásoknak rövidebb ideig van kitéve, mint 28 nap és az érintkezési felület durvított. E feltételeknek feltehetőleg egyidejűleg kell fennállniuk.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (11) bekezdése szerint az egyenetlen felületű betonok (például mosottbeton) legkisebb betonfedését (c_{min}) célszerű 5 mm-rel megnövelni.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (13) bekezdése azt ajánlja, hogy kopásálló betonok esetén a legkisebb betonfedést (c_{min}), ha a koptató hatás mérsékelt (például kisebb gumikerekű járművek által gyakran használt ipari területek), akkor 5 mm-rel, ha erős (például felfújt vagy tömör gumikerekű targoncák által gyakran használt ipari területek), akkor 10 mm-rel, ha rendkívül erős (például műanyag vagy acél kerekű targoncák vagy tehergépjárművek által gyakran használt ipari területek), akkor 15 mm-rel növeljék meg.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány koptatóhatások között ilyen különbséget nem tesz, kopásálló betonok esetén egységesen a legnagyobb betonfedést írja elő.

A méreteltéréseket figyelembe vevő kötelező ráhagyás (Δc_{dev}) értékére az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.3. szakaszának (1) és (2) bekezdése 10 mm-t jelöl meg, de az alkalmazandó értéket nemzeti hatáskörbe utalja. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD I1. táblázata szerint, mind betonacél, mind feszítőbetét esetén az X0 és XC1 környezeti osztályban a kötelező ráhagyás (Δc_{dev}) 10 mm, a többi környezeti osztályban 15 mm.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.3. szakaszának (3) bekezdése szerint, ha a gyártáshoz olyan minőségbiztosítási rendszer kapcsolódik, mely a betonfedés mértékére vonatkozó mérésekre is kiterjed, akkor a méreteltéréseket figyelembe vevő kötelező ráhagyás (Δcd_{ev}) értéke legfeljebb 5 mm-re csökkenthető.

Egyenetlen felületekre történő betonozás esetén a nagyobb méreteltérésekre való tekintettel a névleges betonfedést (c_{nom}) a tervezéskor általában meg kell növelni. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.3. szakaszának (4) bekezdése azt ajánlja, hogy ha előkészített talajra (a felületkiegyenlítést is beleértve) betonoznak, akkor a névleges betonfedés (c_{nom}) legalább 40 mm, ha közvetlenül a talajra betonoznak, akkor legalább 75 mm legyen. Ezt a nemzeti melléklet NA14.3. szakasza azzal egészíti ki, hogy ha előkészített talajra betonoznak, akkor a névleges betonfedés $c_{nom} = c_{min} + 15$ mm, ha közvetlenül a talajra betonoznak, akkor $c_{nom} = c_{min} + 40$ mm legyen.

Az *előregyártott vasbeton és feszített vasbeton termékek* betonfedésével (betontakarásával) az MSZ EN 13369:2004 szabvány A. melléklete foglalkozik. Az előírt legkisebb betonfedést ($c_{min,dur}$) a környezeti osztályok függvényében a *7. táblázatban* tüntettük fel. Ugyanennek a szabványnak a korábbi változatában (MSZ EN 13369:2003) a legkisebb betonfedés követelményét más rendszerben fogalmazták meg, és helyenként más követelmény értékeket adtak meg *(8. táblázat*). Mind az MSZ EN 13369:2004 szabvány, mind a DIN EN 13369:2001 (MSZ EN 13369:2003) szabvány 4. táblázata szerint a kötelező ráhagyás (Δc_{dev}) értéke 150 mm vagy annál kisebb keresztmetszeti méret esetén ±5 mm, 400 mm-es keresztmetszet esetén (+15 -10) mm, 2500 mm vagy annál nagyobb keresztmetszeti méret esetén (+30 -10) mm.

A *betonszerkezetek kivitelezésével* foglalkozó MSZ EN 13670:2010 szabvány angol nyelvű változatának (EN 13670:2009) 4. ábrája a betonfedés (betontakarás) kötelező ráhagyását (Δc_{dev}) a keresztmetszet magasságának függvényében adja meg (*9. táblázat*). A szabvány 10.6. szakaszában úgy rendelkeznek, hogy a megadott értékek előregyártott termékekre nem alkalmazhatók, és a betontakarás követelményét minden egyes mérés eredményének ki kell elégítenie, hacsak az építéshelyén érvényes előírások meg nem engedik a statisztikai értékelést. (Az MSZ EN 13670:2010 szabvány magyar nyelvű változatában szereplő 4. ábrát az európai szabvány korábbi, érvénytelen változatából vették át.)

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD I1. táblázatában megadott betonfedések az S3 szerkezeti osztálynak felelnek meg, holott az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakasza (5) bekezdésének megjegyzése és 4.3N táblázata, valamint NA3.1.2. szakasza szerint az 50 év tervezési élettartamú beton az S4 szerkezeti osztályba tartozik, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerinti, és a beton-, illetve betonszerkezet-gyártás minőségellenőrzése nem kiemelt szintű (*2. táblázat*). Ennek az eltérésnek a folytán az X0 környezeti osztály kivételével az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5 mm-rel kisebb legkisebb betonfedést ($c_{min,dur}$) követel meg (*10. táblázat*), mint az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány (*11. táblázat*).

7. táblázat: Előregyártott vasbeton termékek előírt legkisebb betonfedése ($c_{min,dur}$) mm-ben, a korrózióvédelem érdekében, az MSZ EN 13369:2004 szabvány A. melléklete szerint

Környezeti osztály	Betonacélok lemezben		Betonacélok egyéb szerkezetben		Előfeszített betétek lemez szerkezetben		Előfeszített betétek egyéb szerkezetben	
	≥ C_0	< C_0	≥ C_0	< C_0	≥ C_0	< C_0	≥ C_0	< C_0
X0 * C_{min} = C20/25 C_0 = C30/37	10	10	10	10	10	10	10	10
XC1 C_{min} = C20/25 C_0 = C30/37	10	10	10	10	15	15	15	20
XC2, XC3 * C_{min} = C25/30 C_0 = C35/45	10	15	15	20	20	25	25	30
XC4 C_{min} = C30/37 C_0 = C40/50	15	20	20	25	25	30	30	35
XD1, XS1 C_{min} = C30/37 C_0 = C40/50	20	25	25	30	30	35	35	40
XD2, XS2 C_{min} = C30/37 C_0 = C40/50	25	30	30	35	35	40	40	45
XD3, XS3 C_{min} = C35/45 C_0 = C45/55	30	35	35	40	40	45	45	50

Megjegyzés: A C_{min} a legkisebb előírt beton nyomószilárdsági osztály, a C_0 az előírtnál (C_{min}) kettővel nagyobb nyomószilárdsági osztály. Ha a betont fagyhatás (XF környezeti osztály) vagy kémiai hatás (XA környezeti osztály) éri, akkor a beton összetételét különös gonddal kell megtervezni. Ha a beton szabad felületei megfelelő védelmet kapnak, akkor a környezeti osztályt csökkenteni szabad.

* Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a megkövetelt nyomószilárdsági osztály (C_{min}) az X0v(H) környezeti osztályban C16/20 és az XC3 környezeti osztályban C30/37.

8. táblázat: Előregyártott vasbeton termékek előírt legkisebb betonfedése ($c_{min,dur}$) mm-ben, a korrózióvédelem érdekében, a DIN EN 13369:2001 és az MSZ EN 13369:2003 szabvány A. melléklete szerint

Környe-zeti osztály	Betonacélok lemezben		Betonacélok egyéb szerkezetben		Előfeszített betétek lemez szerkezetben		Előfeszített betétek egyéb szerkezetben	
	≥ C40/50	< C40/50	≥ C40/50	< C40/50	≥ C40/50	< C40/50	≥ C40/50	< C40/50
X0, XC1	10	15	10	15	15	20	20	25
XC2, XC3, XC4	10	15	15	20	20	25	25	30
XD1, XF1, XA1, XF2	15	20	20	25	25	30	30	35
XA2, XD2, XS1, XF3	20	25	25	30	30	35	35	40
XD3, XS2, XS3, XF4, XA3	30	35	35	40	40	40	40	40

Megjegyzés: Védőbevonattal ellátott vagy rozsdamentes betonacél esetén a betonfedést 5 mm-rel szabad csökkenteni. Ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ 40/50 és vízfelvétele < 4,5 tömeg%, akkor a betonfedést 5 mm-rel, ha beton nyomószilárdsági osztálya > 50/60 és vízfelvétele < 3,5 tömeg%, akkor a betonfedést 10 mm-rel szabad csökkenteni. A legkisebb betonfedés minden esetben legalább 10 mm kell legyen. Ha a szerkezeti elem nem teherhordó vagy a tervezett élettartama az EN 1991 szabványban előírtnál rövidebb, akkor a betonfedést megfelelő módon szabad csökkenteni.

9. táblázat: A betonfedés kötelező ráhagyása (Δc_{dev}) az MSZ EN 13670:2010 szabvány 4. ábrája szerint

Az eltérés fajtája	Leírás	Megengedett eltérés Δ	
Vasbeton		1. tűrési osztály	2. tűrési osztály
Követelmény: $c_{nom} + \Delta c_{(plusz)} > c > c_{nom} - \lvert \Delta c_{(mínusz)} \rvert$	Közönséges vasalás helyzete $\Delta c_{(plusz)}$ $h \leq 150$ mm $h = 400$ mm $h \geq 2500$ mm a közbenső értékekre lineáris interpolációval	+10 mm +15 mm +25 mm [b]	+5 mm +10 mm +20 mm
c_{min} = előírt minimális betonfedés c_{nom} = névleges betonfedés = = $c_{min} + \lvert \Delta c_{(mínusz)} \rvert$ c = tényleges betonfedés Δc = megengedett eltérés a c_{nom}-tól h = keresztmetszeti magasság	$\Delta c_{(mínusz)}$	Δc_{dev} [a]	Δc_{dev} [a]

[a]) A Δc_{dev} értéke az EN 1992-1-1 nemzeti mellékletében található. Ha nincs másképpen szabályozva, akkor Δc_{dev} = 10 mm. Ha a statisztikai közelítés meg van engedve, akkor a kivitelezési előírás megadhat a betonfedés bizonyos százalékos értékében a megengedett c_{min}-nél kisebb értéket.

[b]) Az alapok és az alapban lévő betontestek esetén a betonfedés megengedett plusz-eltérései 15 mm-rel növelhetők. A megadott mínusz-eltéréseket alkalmazzuk.

Az eltérés fajtája	Leírás	Megengedett eltérés Δ
Feszített vasbeton		1. tűrési osztály
	A feszítő vasalás helyzete [a] h = 200 mm h > 200 mm	± 6 mm ± 0,03 h vagy ± 30 mm közül a kisebb érték
Hosszmetszet; y = névleges helyzet [általában az (x) helyzet függvénye a feszítőbetét mentén]	Betonfedés a feszítőbetéten $\Delta c_{(mínusz)}$	Δc_{dev} [b]

[a]) A megadott értékeket a vastagságra és keresztirányban alkalmazzuk. Keresztirányban h az elem szélessége. Lemezekben a feszítőbetétekre ± 30 mm-nél nagyobb eltérést meg szabad engedni, ha szükséges, a kis nyílások, rések, bevágások és beszúrások kiküszöbölésére. Az ilyen eltérés mellett a feszítőbetétnek sima profilúnak kell lennie.

[b]) A megengedett Δc_{dev} mínusz-eltérés olyan, mint normálvasalás esetén.

10. táblázat: A betonfedés szükséges mértéke szokványos szerkezet esetén az MSZ 4798-1:2004 szabvány tájékoztató NAD I1. táblázata szerint. A táblázat értékei az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerint **S3** szerkezeti osztály és **50 év** tervezési élettartam esetén érvényesek, tehát akkor, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb, vagy ha a minőségellenőrzés kiemelt szintű, azaz a szerkezet nem szokványos

Környezeti osztály	Legkisebb betonfedés [c] c_{min} mm Helyesen: $c_{min,dur}$		Kötelező ráhagyás [d] Δc_{dev}, mm
	Betonacél	Feszítőbetét	
X0	10 [a]	10 [b]	10
XC1	10 [a]	20 [b]	10
XC2 – XC3	20 [a]	30 [b]	15
XC4	25 [a]	35 [b]	15
XD1 és XS1	30 [a]	40 [b]	15
XD2 és XS2	35 [a]	45 [b]	15
XD3 és XS3	40 [a]	50 [b]	15
XF1 – XF4 XA1 – XA3 XV1(H) – XV3(H)	45	55	15
XK1(H) – XK4(H)	50	60	15

A névleges betonfedés (c_{nom}) az előírt legkisebb betonfedésnek (c_{min}) a Δc_{dev} kötelező ráhagyással megnövelt értéke: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$. A szerkezeti terveken a névleges betonfedés c_{nom} [mm] értékeit kell bejelölni. Ha a névleges betonfedés értéke $c_{nom} > 40$ mm, akkor a betonfedésbe erősítő műanyaghálót kell szerelni. Ez utóbbira nézve lásd könyvünk *5.2. fejezetét*.

[a] A MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2. szabvány 4. fejezetében lévő 4.4N. táblázat S3 szerkezeti osztálya szerint, ha a beton tervezett használati élettartama 50 év, és a betonacél külön védelemmel el nem látott, ötvözetlen szénacél.

[b] A MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2. szabvány 4. fejezetében lévő 4.5N. táblázat S3 szerkezeti osztálya szerint, ha a beton tervezett használati élettartama 50 év, és a feszítőbetét külön védelemmel el nem látott, ötvözetlen szénacél.

[c] Ha a beton nyomószilárdsági osztálya az erőtani követelmények folytán két osztállyal nagyobb, mint a környezeti osztályban megkövetelt érték, akkor a legkisebb betonfedést 5 mm-rel csökkenteni lehet, kivéve az XC1 környezeti osztályt (Heidelberger Zement Group, 2003). Az MSZ 4798-1:2004 szabványnak ez a megjegyzése téves, mert ebben a táblázatban már az S4 szerkezeti osztályhoz tartozó betonfedéseknek 5 mm-rel csökkentett értéke szerepel, lásd a *11. táblázatot*.

Ha az adalékanyag szemnagysága nagyobb, mint 32 mm, akkor a legkisebb betonfedést 5 mm-rel meg kell növelni (MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2. szabvány 4. fejezete).

Ha a beton tervezett használati élettartama 100 év, akkor a legkisebb betonfedést 10 mm-rel meg kell növelni (MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2. szabvány 4. fejezete). Az MSZ 4798-1:2004 szabványnak ez a megjegyzése az S4 szerkezeti osztály esetén, tehát a *11. táblázat* alatt lenne helytálló, és arra alkalmazva a *12. táblázat* értékeire jutnánk.

[d] Építéshelyi betonozás esetén, ha a vasbeton szerkezetet különösen egyenetlen felszínre fektetik, vagy építészetileg igényes, de egyenetlen felületet (például tagolt felület, látszóbeton, mosott felületű beton stb.) készítenek, akkor az előírt névleges betonfedés ($c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$) – más nemzeti előírás híján – legalább 40-75 mm legyen (MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2. szabvány 4. fejezete).

A kötelező ráhagyást akkor lehet – elsősorban az előregyártásnál – legfeljebb 5 mm-re lecsökkenteni, ha a minőségellenőrzési eljárással annak indokoltsága és betartása dokumentált formában igazolt, az ellenőrzéshez használt hosszmérőeszköz nagy pontosságú, és a nemmegfelelő terméket nem hozzák forgalomba (MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2. szabvány 4. fejezete).

11. táblázat: A betonfedés szükséges mértéke **S4** szerkezeti osztályú és **50 év** tervezési élettartamú szokványos szerkezet esetén az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány alapján, tehát akkor, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerinti és a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű

Környezeti osztály	Legkisebb betonfedés $c_{min,dur}$ mm		Kötelező ráhagyás Δc_{dev}, mm
	Betonacél	Feszítőbetét	
X0	10	10	10
XC1	15	25	10
XC2 – XC3	25	35	15
XC4	30	40	15
XD1 és XS1	35	45	15
XD2 és XS2	40	50	15
XD3 és XS3	45	55	15
XF1 – XF4 XA1 – XA3 XV1(H) – XV3(H)	50	60	15
XK1(H) – XK4(H)	55	65	15

Az S6 szerkezeti osztályú és 100 év tervezési élettartamú szokványos szerkezet betonfedésének MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerinti szükséges mértékét a *12. táblázatban* tüntettük fel.

12. táblázat: A betonfedés szükséges mértéke **S6** szerkezeti osztályú és **100 év** tervezési élettartamú szokványos szerkezet esetén az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány alapján, tehát akkor, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerinti és a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű

Környezeti osztály	Legkisebb betonfedés $c_{min,dur}$ mm		Kötelező ráhagyás Δc_{dev}, mm
	Betonacél	Feszítőbetét	
X0	20	20	10
XC1	25	35	10
XC2 – XC3	35	45	15
XC4	40	50	15
XD1 és XS1	45	55	15
XD2 és XS2	50	60	15
XD3 és XS3	55	65	15
XF1 – XF4 XA1 – XA3 XV1(H) – XV3(H)	60	70	15
XK1(H) – XK4(H)	65	75	15

5.2. ELŐÍRÁSOK A KÉREGVASALÁSRA

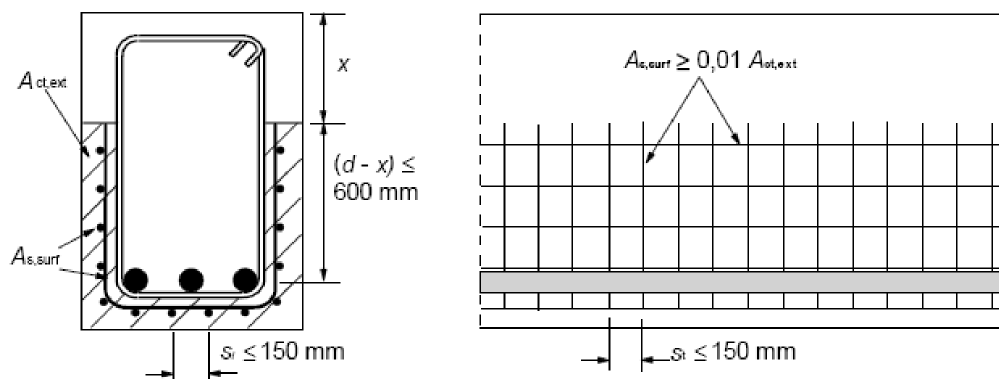
Az MSZ 4798-1:2004 szabvány I. melléklete – amely tájékoztatás – NAD I1. táblázatának megjegyzése szerint, „ha a névleges betonfedés mértéke nagyobb mint 40 mm (c_{nom} > 40 mm), akkor a betonfedésbe erősítő műanyag hálót kell szerelni.” Az erősítő műanyag háló szerepét megfelelő nyílású nagy szilárdságú szénszálas vagy aramid-szálas háló töltheti be, bár erre irodalmi utalást nem találtunk. A névleges betonfedés – az erősítő háló beépítésének szükségessége megszabta – határértékére a betonfedés tömörsége, húzószilárdsága, cementtartalma, a felhasznált cement fajtája stb. bizonyára hatással van.

A túl nagy névleges betonfedés (c_{nom}) az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (7) bekezdése szerint $\Delta c_{dur,st}$ értékkel csökkenthető, ha a vasalást rozsdamentes betonacéllal oldjuk meg. Az előírt névleges betonfedés (c_{nom}) ebben az esetben sem lehet kisebb, mint az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának másfélszerese. A szabvány NA 13.4. szakasza szerint Magyarországon rozsdamentes (korrózióálló) betonacélok esetén a csökkentő érték: $\Delta c_{dur,st} = 5$ mm, egyéb különleges intézkedések esetén a $\Delta c_{dur,st} > 0$ mm értékek megalapozottságát független laborvizsgálatokkal kell igazolni.

Ha nem tudunk rozsdamentes betonacélt használni, akkor a betonfedés vastagságát meg kell tartani, de alkalmazhatunk kéregvasalást hasonlóan ahhoz, ahogy az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabványban előírják, illetve javasolják.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 8.8. szakaszának (2) bekezdése szerint 32 mm-nél nagyobb átmérőjű acélbetét vagy acélbetétköteg (acélbetétcsoport) esetén vagy kéregvasalást kell alkalmazni, vagy a repedéskorlátozást számítással kell igazolni. A 8.8. szakasz (8) bekezdése szerint a kéregvasalás keresztmetszeti területe a 32 mm-nél nagyobb átmérőjű acélbetétekre merőleges irányban legalább $0{,}01 \cdot A_{ct,ext}$, míg azokkal párhuzamos irányban legalább $0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$ legyen. A 8.9.1. szakasz szerint az egyedi acélbetétekre vonatkozó szabályok egyéb előírás hiányában acélbetétkötegekre is érvényesek. Az acélbetétköteg egyenértékű (helyettesítő) átmérője: $\varnothing_n = \varnothing \cdot \sqrt{n} \leq 55$ mm. A betonfedést az acélbetétköteg tényleges külső síkjától kell mérni, és az ne legyen kisebb, mint $\varnothing_n$.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 9.2.4. szakaszában, illetve T. mellékletének (3) bekezdésében kéregvasalás beépítését javasolják repedéskorlátozás céljából vagy a betonfedés leválása, lepattogzása ellen a húzott övbe arra az esetre, ha a betonfedés nagyobb, mint 70 mm. A kéregvasalást általában hegesztett hálóból vagy kis átmérőjű acélbetétekből kell elkészíteni, és a kengyeleken kívül, például az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány J1. ábrájának (*6. ábra*) megfelelően kell elhelyezni.



6. ábra: Példa a kéregvasalásra (Forrás: MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány J1. ábrája). Az x a semleges tengely helye, az s a kéregvasalás (védőháló) nyílása

A *6. ábrát Lohmeyer* et al. „Stahlbetonbau" című könyvének (2010) 4.6.8. szakaszában is megtaláljuk. E könyv szerint kéregvasalást (felületi vasalást) akkor kell a lepattogzások ellen és a repedéstágasság korlátozása érdekében alkalmazni, ha az acélbetét vagy az acélbetétköteg átmérője nagyobb, mint 32 mm. A kéregvasalás a kengyeleken kívül helyezkedjék el, és legfeljebb 10 mm átmérőjű betonacélból készüljön. A kéregvasalás előírt névleges betonfedése a *Lohmeyer*-féle könyv 4.3. táblázata szerint ugyanakkora, mint amekkora névleges betonfedést Németországban a fővasalásra előírnak. A kéregvasalás keresztmetszeti területe ($A_{s,surf}$) ne legyen kisebb, mint kengyeleken kívüli húzott betonfelület ($A_{ct,ext}$) 0,02-szorosa ($A_{s,surf} \geq 0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$). A kéregvasalást a statikailag szükséges vasalásba be szabad számítani, éspedig a kéregvasalás hosszirányú acélszálait a hajlító-húzó vasalásként, a kéregvasalás keresztirányú

acélszálait keresztirányú (nyíró-) vasalásként, ha a kéregvasalás az ilyen irányú fővasalás elrendezésére és lehorgonyzására vonatkozó előírásoknak megfelel.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány J1. fejezetének (2) és (3) bekezdése szerint a kéregvasalás $A_{s,surf}$ keresztmetszeti területe a gerenda húzott fővasalásával párhuzamos és arra merőleges irányban általában ne legyen kisebb, mint $A_{s,surfmin}$. Az $A_{s,surf,min}$ ajánlott értéke $0{,}01 \cdot A_{ct,ext}$, ahol $A_{ct,ext}$ a kengyeleken kívüli húzott betonfelületet jelenti (*6. ábra*). Ha a betonfedés nagyobb, mint 70 mm, akkor általában hasonló, mindkét irányban $0{,}005 \cdot A_{ct,ext}$ keresztmetszeti területű kéregvasalást kell alkalmazni.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány T. mellékletének (5) bekezdése szerint a kéregvasalás hossz- illetve keresztirányú acélbetétei beszámíthatók a hosszirányú hajlítási, illetve a nyírási vasalásba, ha megfelelnek az azok elrendezésére és lehorgonyzására vonatkozó követelményeknek.

A DIN 1045-1:2008 szabvány 6.3. szakaszának (2) bekezdésében úgy rendelkeznek, hogy a kéregvasalás is meg kell feleljen a betonfedés követelményeinek, akkor is, ha a teherhordóképesség és a használati alkalmasság igazolása során nem vették számításba.

A DIN 1045-1:2008 szabvány 13. fejezetében szerkesztési szabályokat írnak elő az európai szabvány nemzeti alkalmazási kiegészítéseként. Az EN 1992-1-1:2004 (MSZ EN 1992-1-1:2010) és az EN 1992-1-1:2004/AC:2008 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szabványnak nincs 13. fejezete, a DIN 1045-1:2008 szabványnak nincs MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerinti T. melléklete.

A DIN 1045-1:2008 szabvány 13.2.5. szakasza a felületi vasalásnak (Oberflächenbewehrung) nevezett kéregvasalást az EN 1992-1-1:2004 (MSZ EN 1992-1-1:2005) szabvánnyal és annak 2008. évi módosított verziójával (EN 1992-1-1:2004/AC:2010, MSZ EN 1992-1-1:2010) hasonló módon tárgyalja. Kéregvasalást a 32 mm-nél nagyobb átmérőjű acélbetét vagy acélbetétköteg (Stabbündel) esetén kell alkalmazni. A kéregvasalás hossz- illetve keresztirányú acélbetétei beszámíthatók a hosszirányú hajlítási, illetve a nyírási vasalásba, ha megfelelnek az azok elrendezésére és lehorgonyzására vonatkozó követelményeknek. A kéregvasalásra példát a DIN 1045-1:2008 szabvány 69. ábráján mutatnak be, az lényegében megegyezik a *6. ábrával*. Eltérés az európai szabványhoz képest, hogy a DIN 1045-1:2008 szabvány 13.2.5. szakaszában előírják, hogy nagyátmérőjű acélbetét esetén a kéregvasalásháló nyílása legfeljebb 100 mm lehet, és a kéregvasalás $A_{s,surf,min}$ előírt legkisebb keresztmetszeti területe a gerenda húzott fővasalásával párhuzamos irányban nem $0{,}01 \cdot A_{ct,ext}$, hanem $0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$.

Lényegében a DIN 1045-1:2008 szabvánnyal azonos követelményeket tartalmaz a DIN-Fachbericht 102:2009 jelentés 4.1.3.3. szakasza is, de az előírás 5.13. ábráján a kéregvasalásháló nyílása legfeljebb 150 mm, a könyvünk *6. ábráján* láthatóval megegyezően.

A DIN-Fachbericht 102:2009 jelentés 4.1.3.3. szakaszának (7) bekezdése szerint a kéregvasalás betonfedésére az acélbetét betonfedésével azonos követelmények érvényesek, vagy különleges védelmet (például felületi bevonat a betonon) kell alkalmazni. Az előírás 5.2.6.3. szakaszának (3) bekezdése szerint nagyátmérőjű acélbetét esetén a kéregvasalás $A_{s,surf,min}$ legkisebb keresztmetszeti területe a fővasalásra merőleges irányban $0{,}01 \cdot A_{ct,ext}$, a fővasalással párhuzamos irányban $0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$ lehet.

A DIN 1045-1:2008 szabvány 13.1.2. szakasza az *előfeszített vasbeton elemek* kéregvasalásának feltételeit tárgyalja. Eszerint az előfeszített vasbeton elemekbe mindig kéregvasaláshálót kell beépíteni. Az előfeszített vasbeton elemek különböző zónáinak szükséges kéregvasalását az XC és a különleges környezeti osztályokra a DIN 1045-1:2008 szabvány 30. táblázata tartalmazza. Az előfeszített vasbeton lemezek húzott és nyomott zónájába kerülő kéregvasalásháló nyílása ne legyen több, mint 200 mm. Azokat a feszített

acélbetéteket, amelyek a kéregvasalás betonfedésének kétszeres területén belül fekszenek, teljes felületükkel be szabad számítani a kéregvasalásba. A kéregvasalás a teherbírás és a használati alkalmasság igazolása során beszámítható a vasalásba, ha megfelel az elrendezés és lehorgonyzás követelményeinek. Ezek a követelmények megtalálhatók a DIN-Fachbericht 102:2009 jelentésben is.

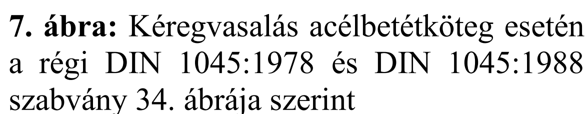
A Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. „Betondeckung und Bewehrung” című műszaki irányelve (DBV-Merkblatt „Betondeckung” 2011) 2. fejezet (10) bekezdésében a névleges betonfedés – az erősítő háló beépítésének szükségessége megszabta – a_i = 70 mm-es határértékét úgy értelmezik, hogy az a szélső teherviselő acélbetét tengelyének a névleges távolsága a beton felületétől. Ennek tükrében MSZ 4798-1 szabvány szerinti, a kengyel szélső palástvonalához tartozó c_{nom} = 40 mm határérték az erősítő háló beépítésére nem is olyan nagyon szigorú ajánlás. A kéregvasalásháló nyílása ne legyen nagyobb, mint 100 mm, és a hálót alkotó acélszálak átmérője ne legyen kisebb, mint 4 mm.

A kéregvasalásról (felületi vasalásról) *Heusinger* 1993-ban írt könyvrészletet, hivatkozással az EC 2 Eurocode-ra, amely szerint kéregvasalást a repedéstágasság korlátozására az 1,0 m-nél vastagabb (szélesebb) gerendák és a gerendavastagságtól függetlenül a 32 mm-nél nagyobb átmérőjű acélbetét vagy acélbetétköteg esetén kell alkalmazni, a húzott acélbetétekkel párhuzamos kéregvasalás keresztmetszeti területe a húzott beton zóna kengyeleken kívüli keresztmetszeti területének legalább az 1,0 %-a kell legyen, az megfelelő feltételek esetén a hajlítási húzott hosszvasalásba beszámítható, és könyvében bemutatta a *6. ábrát* is.

Heusinger megemlítette, hogy a régi DIN 1045:1988 szabvány 18.11.3. szakasza kéregvasalást csak a $Ø_n = Ø\cdot\sqrt{n} > 36$ mm egyenértékű (helyettesítő) átmérőjű acélbetétköteg esetén követelte meg a repedéstágasság korlátozására a hajlított tartó húzott zónájában. Kéregvasalásként legfeljebb 10 cm nyílású betonacélhálót engedélyeztek alkalmazni. Előírták, hogy a kéregvasalás keresztmetszete az acélbetétköteg irányában $a_{sh} \geq 2\cdot c_{sb}$ cm²/m legyen, ahol c_{sb} az acélbetétköteg betonfedésének legkisebb értéke cm-ben. A *6. ábra* nagymértékben hasonlít a DIN 1045:1978 és DIN 1045:1988 szabvány 34. ábrájához (*7. ábra*), amelyen nem acélbetét, hanem acélbetétköteg látható. A kéregvasalásnak a hajlított tartó húzott zónájában $5\cdot Ø_n$ hosszon (*7. ábrán* $5\cdot d_{sV}$ hosszon) kellett a húzott acélbetétköteg fölé nyúlnia, T-keresztmetszetű gerenda esetén pedig az övlemez szélső acélbetétkötegén kellett ugyanennyivel túlnyúlnia (*7. ábra*). A DIN 1045:1988 szabvány 21.1.2. szakaszának (3) bekezdése az 1 m-nél magasabb gerendák és T-keresztmetszetű gerendák gerinclemeze esetén a húzott zónán túlnyúló felületi hosszvasalást írt elő, amelynek összes keresztmetszeti területe el kellett, hogy érje a húzott acélbetétek keresztmetszeti területének 8 %-át, és amelynek beszámítását a húzott vasalásba az elhelyezkedéstől és kialakítástól függően megengedte. Ezek az intézkedések már a tíz évvel korábbi, DIN 1045:1978 szabványban is megjelentek.

A tűzteherre történő méretezést az MSZ EN 1992-1-2:2010 szabvány szerint kell végezni. E szabvány 4.5.1. szakaszában feltételezik, hogy ha a beton nedvesség-tartalma kevesebb, mint 3,0 tömeg%, akkor tűz hatására robbanásszerű betonlepattogzás nem következik be. Ha a beton nedvesség-tartalma ennél több, akkor a robbanásszerű lepattogzás hatását a szerkezet teherbíróképességére meg kell becsülni.

Az MSZ EN 1992-1-2:2010 szabvány 4.5.2. szakaszának (2) bekezdésében előírják, hogy ha a szélső acélbetétek tengelyének távolsága a beton felületétől 70 mm vagy annál több és kísérletekkel nem győződtek meg arról, hogy tűz hatására a betonról rétegek nem válnak le, akkor hálós kéregvasalást kell beépíteni. A kéregvasalás acélbetéteinek átmérője legalább 4,0 mm, a háló nyílása legfeljebb 100·100 mm legyen.



7. ábra: Kéregvasalás acélbetétköteg esetén a régi DIN 1045:1978 és DIN 1045:1988 szabvány 34. ábrája szerint

Az MSZ EN 1992-1-2:2010 szabvány 6.2. szakaszának (2) bekezdése szerint a C90/105 nyomószilárdsági osztály esetén a tűznek közvetlenül kitett beton lepattogzásait például kéregvasalással és azon lévő 15 mm vastag névleges betonfedéssel és a fővasaláson lévő legalább 40 mm-es névleges betonfedéssel lehet megelőzni. A hálós vasalás acélbetéteinek átmérője legalább 2,0 mm, a háló nyílása legfeljebb 50·50 mm legyen.

E módszer helyett az MSZE 21992-1-2:2008 előszabvány le nem pattogzó beton-féleség alkalmazását vagy a friss betonba legalább 2 kg/m^3 polipropilén szál keverését javasolja.

Az MSZ EN 1992-1-2:2010 szabvány 4.7. szakasza szerint a szükséges tűzvédelmet védőrétegekkel is el lehet érni. Tűz esetén a 40-50 mm vastag betonfedés hőszigetelő hatása már csökkenti az acélbetét felmelegedését és a vasbetonszerkezet tönkremenetelének veszélyét. Vasbeton boltozatok, például íves alagút falak tűzvédelmére elegendőnek tűnik a 60 mm-es betonfedés, mégis az acélbetét védelmét a betonfedés lepattogzását meggátló horganyzott hálóval is szokás növelni, amelyre még 20 mm betonfedés is kerül.

A DIN 4102-4:1994 szabvány 3.1.5.2. szakasza szerint tűzvédelmi szempontból, ha a hajlított tartó névleges betonfedésének értéke nagyobb, mint 50 mm (c_{nom} > 50 mm), akkor a húzott oldalon a betonfedésbe hálós védővasalást (németül: Schutzbewehrung) kell helyezni. A hálós védővasalás acélbetéteinek átmérője legalább 2,5 mm legyen, a védőháló nyílása 150·150 mm és 500·500 mm közé essék. Nagyszilárdságú beton esetére, ha fennáll a robbanásszerű betonlepattogzás veszélye, a DIN 4102-4/A1:2004 szabvány 3.1. szakasza egyéb feltételek mellett 15 mm, illetve nedves vagy kémiailag káros környezetben 20 mm vastag névleges betonfedéssel védővasalást ír elő. Ennek a német tűzállósági szabványnak az osztott biztonsági tényező elvén alapuló méretezési alkalmazásával a DIN 4102-22:2004 szabvány foglalkozik.

Célszerű, ha a kéregvasalás anyaga rozsdamentes acélhuzal, és azt nem a kengyelekhez erősítik, hanem azoktól távolabb, rozsdamentes távtartók segítségével a betonfedésbe rögzítik. A kéregvasalásra, valamint a kengyelek és a kéregvasalás közötti távolságra nézve az acélhuzalok közötti szabad nyílás az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának legalább másfélszerese legyen.

Jedelhauser (2008) ismerteti a rozsdamentes, hidegen alakított, bordás betonacél alkalmazását a híd- és műtárgyépítésben. Alkalmazása esetén a legkisebb betonfedés mintegy 25 mm-re csökken. A rozsdamentes betonacél átmérője általában 4-14 mm. Előnyös alkalmazására példa az 1995. évben épült schaffhauseni ferde kábeles közúti Rajna-híd, amelynek vasbeton

kábelpilonjait 7,6 m magasan és pályalemez hossztartóit rozsdamentes kéregvasalással (Hautbewehrung) látták el. A távtartók kötözőhuzala is rozsdamentes acél volt. Az építési költséget a rozsdamentes betonacél alkalmazása 1-2 %-kal emelte meg, ezzel szemben a fenntartási költség a 80 éves tervezési élettartam alatt 18 %-kal csökken.

A szerkezeti célú rozsdamentes acélhuzalok tulajdonságait az MSZ EN 10088-5:2009 szabványban tárgyalják, a rozsdamentes acélok jegyzéke az MSZ EN 10088-1:2005 szabványban található. Németországban a rozsdamentes acélok építési célú alkalmazását a Z-30.3-6:2003 számú műszaki engedély szabályozza.

Összegezve: Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD I1. táblázata az S3 szerkezeti osztályú, 50 év tervezési élettartamú betonok betonfedését közli. Az 50 év tervezési élettartamú betonok akkor tartoznak az S3 szerkezeti osztályba, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb, vagy, ha a betonszerkezet-gyártás (betonkészítés, betonacél szerelés, beton bedolgozás, tömörítés, utókezelés) kiemelt szintű minőségellenőrzéssel történik. Ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerinti, vagy ha a szerkezet készítést nem kíséri végig kiemelt szintű minőségellenőrzés, akkor az 50 év tervezési élettartamú betonok esetén az S4 szerkezeti osztályt és az annak megfelelő betonfedéseket kell alkalmazni. Ha a beton tervezési élettartama 100 év, akkor a szerkezeti osztály kiemelt szintű minőségellenőrzés esetén S5, anélkül S6, és ezért a betonfedés is ezeknek megfelelő kell legyen.

Az adalékanyag névleges legnagyobb szemnagysága legfeljebb a névleges betonfedés (c_{nom}) kétharmada lehet. Ha valamilyen oknál fogva – például az adalékanyagváz hézagtérfogatának, azaz a cementpéptérfogat csökkentésének érdekében – az adalékanyag névleges legnagyobb szemnagyságát a névleges betonfedés (c_{nom}) kétharmadánál nagyobbra célszerű felvenni, akkor a betonfedést a névleges legnagyobb szemnagyság másfélszeresére kell növelni.

A betonfedés szabványos előírt értékeit – az acélbetét korrózióját, elvékonyodását, akár elszakadását, a betonon a felületi repedéseket, lepattogzásokat, leválásokat legrosszabb esetben a szerkezet tönkremenetelét megelőzendő – a nagy javítási költségek megtakarítása érdekében is mindenképpen ajánlatos betartani, és távolság tartókkal biztosítani.

A túl nagy névleges betonfedés az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (7) bekezdése szerint csökkenthető, ha a vasalást rozsdamentes (korrózióálló) betonacéllal oldjuk meg. Az előírt névleges betonfedés ebben az esetben sem lehet kisebb, mint az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának másfélszerese. Magyarországon rozsdamentes betonacélok esetén a csökkentő érték: $\Delta c_{dur,st}$ = 5 mm,

Ha a rozsdamentes betonacél használatának akadálya van, akkor a betonfedés vastagságát meg kell tartani, de alkalmazhatunk kéregvasalást hasonlóan ahhoz, ahogy az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 9.2.4. szakaszában, illetve T. mellékletének (3) bekezdésében javasolják a húzott övre arra az esetre, ha a betonfedés nagyobb, mint 70 mm. A tartósság szempontjából előnyös, ha kéregvasalást nem csak a húzott övben, hanem a vastag betonfedésben mindenhol alkalmazunk. Célszerű, ha a kéregvasalás anyaga rozsdamentes acélhuzal, és azt nem a kengyelekhez erősítik, hanem azoktól távolabb, rozsdamentes távtartók segítségével a betonfedésbe rögzítik. A kéregvasalásra, valamint a kengyelek és a kéregvasalás közötti távolságra nézve az acélhuzalok közötti szabad nyílás az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának legalább másfélszerese legyen.

DER

EISENBETONBAU

SEINE

THEORIE UND ANWENDUNG.

HERAUSGEGEBEN

VON

E. MÖRSCH,

PROFESSOR AM EIDGENÖSS. POLYTECHNIKUM IN ZÜRICH.

DRITTE,

VOLLSTÄNDIG NEU BEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

MIT 347 TEXTABBILDUNGEN, 2 ANHÄNGEN
UND 4 TABELLEN.

MIT VERSUCHEN UND BAUAUSFÜHRUNGEN DER FIRMA

WAYSS & FREYTAG A.-G.,

NEUSTADT a. H. etc.

HERAUSGEBER DER ERSTEN UND ZWEITEN AUFLAGE.



STUTTGART 1908.
VERLAG VON KONRAD WITTWER.

6. BETONOK SZABVÁNYOS JELÖLÉSE

Magyarországon az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti beton jele a következő tagokból áll (A beton jele tagjainak sorszámát fekete körben tüntettük fel, például: ❶, ha azok szerepeltetése kötelező, és fehér körben, például ②, ha azok a beton jelében feltételesen szerepelnek.):

❶ **Nyomószilárdsági osztály** betűjellel és két számértékkel kifejezett jele, például közönséges beton esetén: C30/37, könnyűbeton esetén: LC30/33, nehézbeton esetén: HC30/37.

② ***Ha*** a beton könnyűbeton, akkor a szilárd **könnyűbeton testsűrűségi osztályának** jele, például: ρ_{LC} 1,8.

③ ***Ha*** a beton adalékanyaga nem homokos kavics, az **adalékanyag megnevezése**, amellyel a beton készül, például: zúzottkővel (ezt részletezve, például bazalt zúzottkővel, andezit zúzottkővel, dolomit zúzottkővel stb.), baritttal, duzzasztott agyagkaviccsal stb.

❹ **Környezeti osztály vagy osztályok** jele, például: XC4, vagy több környezeti osztály esetén: XC4-XF1-XA2.

Ha a környezeti osztályhoz tartozó ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály csak a beton 28 napos kora után, az utószilárdulás folyamán, **90 napos korra teljesül** – és ezt írásban igazolják –, akkor azt a környezeti osztály jelében „90" alsó indexszel kell jelezni. Például: $XD2_{90}$(H). Ebben az esetben a beton jelében meg kell adni az alkalmazandó cement jelét is.

Ha valamely környezeti osztályt magyar nemzeti szabvány vezeti be, akkor a környezeti osztály jelében fel kell tüntetni **Magyarország országnév rövidítését** (H), vagy ha másik magyar szabályozó irat vezeti be, akkor annak jelét. Például: X0b(H), X0v(H), $XD2_{90}$(H), XK1(H), XV1(H), vagy például: XF2(H), amely utóbbi esetben a (BV-MI) jel a Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelvekre utal.

❺ Adalékanyag névleges **legnagyobb szemnagyságának** a számértéke, például: 24 mm.

❻ **Konzisztencia osztály** jele, például: F3; vagy a konzisztencia jele a mérőszám határértékeivel, például: F3 (420-480 mm), vagy a konzisztencia jele a mérőszám átlagértékével és a tűréssel például: F3 (450±30 mm). A konzisztencia osztály jele a kivitelezővel kötendő szerződésben akkor is egyértelműen (egyetlen jellel) rögzítendő, ha a beton jelének megadásakor vagy a betontervezés során a konzisztencia mérési módszer mibenléte még nem volt ismert, és az előíró vagy tervező a konzisztencia jelét két mérési módszerhez illesztve is megadta, például terülés méréssel: F3 és alternatívaként roskadás méréssel: S2.

Az önterülő-öntömörödő beton konzisztenciáját a prEN 206:2012 európai szabványtervezet öntömörödő betonokra vonatkozó konzisztencia osztályainak jelével kell megadni.

⑦ ***Ha*** a betonnak a **cement** tömegére vonatkoztatott megengedett **kloridion-tartalma** 0,2 tömeg%, akkor azt a beton jelében nem kell megadni, ha ettől eltérő, akkor a kloridion-tartalom jelét a beton jelében szerepeltetni kell (például feszített vasbeton esetén). Például: Cℓ 0,10.

⑧ ***Ha*** a kiíró követelményként megadja a **cement** minőségét, akkor a cement jelét a beton jelében fel kell tüntetni (például: CEM I 52,5).

⑨ ***Ha*** a beton **tervezési élettartama** 50 év, akkor a tervezési élettartamot a beton jelében nem kell megadni, ha ettől eltérő (például: 100 év), akkor azt a beton jelében fel kell tüntetni.

❿ **Betonszabvány száma évszámmal**, Magyarországon jelenleg általában: MSZ 4798-1:2004

A betonjel tagjait egymás után, kötőjel közbeiktatásával tüntetjük fel:

❶ – ② – ③ – ❹ – ❺ – ❻ – ⑦ – ⑧ – ⑨ – ❿

A tervezői műszaki leírásnak, a betontechnológiai előírásnak, illetve a beton megrendelő és szállítási dokumentumának a **beton jelén kívül** tartalmaznia kell minden olyan követelményt, amelyet az építmény vagy a beton készítésével, illetve átadás-átvételével kapcsolatban a beton jelén kívül előírnak. Ilyen például a betont befogadó építmény szerkezeti osztálya, nyomószilárdság jellemző értékének kiszámításához szükséges alulmaradási tényező fajtája (*Taerwe*-féle vagy *Student*-féle), illetve bármilyen más, a beton minőségével kapcsolatos egyéb követelmény (például szulfátállóság, szikramentesség stb.).

Példák a beton MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti jelére Magyarországon:

1. példa. Annak a C40/50 nyomószilárdsági osztályú betonnak a jele, amelyből esőtől védett helyen álló feszített vasbeton gerenda készül (környezeti osztály: XC3), névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 24 mm, konzisztenciája képlékeny és terülési mértéke 420-480 mm közé esik, konzisztencia osztálya F3, megengedett kloridion-tartalma a cement tömegszázalékában kifejezve 0,10 tömeg%, CEM I 52,5 összetételű, illetve szilárdsági osztályú portlandcementtel készül, tervezési élettartama 100 év, a következő:

C40/50 – XC3 – 24 – F3 – Cℓ 0,10 – CEM 52,5 – 100 év – MSZ 4798-1:2004 vagy
C40/50 – XC3 – 24 – F3 (420-480 mm) – Cℓ 0,10 – CEM I 52,5 – 100 év – MSZ 4798-1:2004

2. példa. Annak a C30/37 nyomószilárdsági osztályú betonnak a jele, amelyből vasbeton keretszerkezet épül (környezeti osztály: XC3), névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 24 mm, konzisztenciája képlékeny és a tervezés idején ismeretes, hogy a konzisztenciát roskadás méréssel fogják vagy roskadás méréssel kell meghatározni, és a roskadási mértéknek 50-90 mm közé kell esnie, tehát konzisztencia osztálya S2, a következő:

C30/37 – XC3 – 24 – S2 – MSZ 4798-1:2004

3. példa. Annak a C30/37 nyomószilárdsági osztályú betonnak a jele, amelyből vasbeton keretszerkezet épül (környezeti osztály: XC3), névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 24 mm, konzisztenciája képlékeny, de a szerkezet tervezés idején még nem ismert, hogy a konzisztenciát roskadás vagy terülés méréssel fogják meghatározni, a következő:

C30/37 – XC3 – 24 – S2-F3 – MSZ 4798-1:2004

4. példa. Annak a C30/37 nyomószilárdsági osztályú, légbuborékképző adalékszerrel gyártott betonnak a jele, amelyből fagy és sózás hatásának kitett vasbeton híd pályaszegélye készül (környezeti osztály: XF4), névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 32 mm, konzisztenciája képlékeny és terülési mértéke 450±30 mm, konzisztencia osztálya F3, a következő:

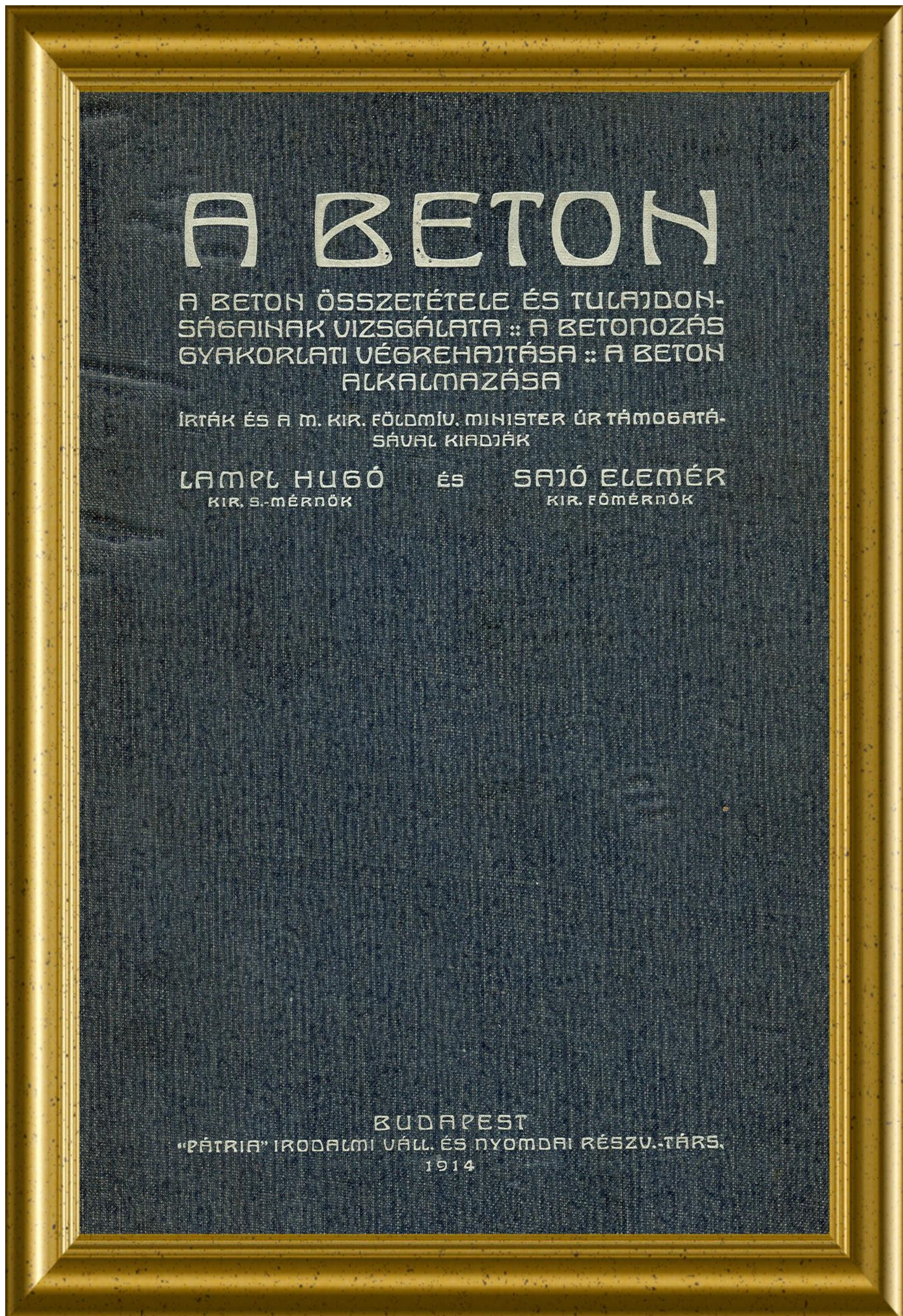
C30/37 – XF4 – 32 – F3 – MSZ 4798-1:2004 vagy
C30/37 – XF4 – 32 – F3 (450±30 mm) – MSZ 4798-1:2004

5. példa. Annak a C40/50 nyomószilárdsági osztályú, kopásálló, légbuborékképző adalékszer nélkül gyártott bazaltbetonnak a jele, amelyből koptatóhatásnak, és fagy és sózás hatásának kitett beton térburkolat készül (környezeti osztály: XK3(H)), névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 32 mm, konzisztenciája képlékeny és terülési mértéke 420-480 mm közé esik, konzisztencia osztálya F3, a következő:

C40/50 – bazalt zúzottkővel – XK3(H) – 32 – F3 – MSZ 4798-1:2004 vagy
C40/50 – bazalt zúzottkővel – XK3(H) – 32 – F3 (450±30 mm) – MSZ 4798-1:2004

6. példa. Annak az LC12/13 nyomószilárdsági osztályú könnyűbetonnak a jele, amelynek a testsűrűsége szilárd állapotban 1600-1800 kg/m^3 közé esik, adalékanyaga duzzasztott agyagkavics, és amelyből könnyűbeton belső teherbíró fal épül (környezeti osztály: X0b(H)), névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 16 mm, konzisztenciája a kissé képlékeny és a képlékeny határán van, konzisztencia osztályának jele a tömörítési mérték jelével kifejezve C2, a következő:

LC12/13 – ρ_{LC}□ 1,8 – duzzasztott agyagkaviccsal – X0b(H) – 16 – C2 – MSZ 4798-1:2004 vagy
LC12/13 – ρ_{LC}□ 1,8 – duzzasztott agyagkaviccsal – X0b(H) – 16 – C2 (1,25-1,11) – MSZ 4798-1:2004


A BETON
A BETON ÖSSZETÉTELE ÉS TULAJDON-SÁGAINAK VIZSGÁLATA :: A BETONOZÁS GYAKORLATI VÉGREHAJTÁSA :: A BETON ALKALMAZÁSA
ÍRTÁK ÉS A M. KIR. FÖLDMÍV. MINISTER ÚR TÁMOGATÁSÁVAL KIADJÁK
LAMPL HUGÓ ÉS SAJÓ ELEMÉR
KIR. S.-MÉRNÖK
KIR. FŐMÉRNÖK
BUDAPEST
"PÁTRIA" IRODALMI VÁLL. ÉS NYOMDAI RÉSZV.-TÁRS.
1914

7. NYOMÓSZILÁRDSÁGI OSZTÁLY

7.1. NYOMÓSZILÁRDSÁGI OSZTÁLY JELE

Az MSZ 4798-1:2004 és az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány szerint a közönséges beton nyomószilárdsági osztályának betűjele *C*, a könnyűbetoné *LC*, a nehézbetoné *HC*. A betűjel után törtvonallal elválasztott két számjegy következik.

Az első számjegy a szabványos, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas próbahengeren 28 napos korban meghatározott *hengerszilárdság előírt jellemző (karakterisztikus) értéke* ($f_{ck,cyl}$), a második a szabványos, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockán 28 napos korban meghatározott *kockaszilárdság előírt jellemző (karakterisztikus) értéke* ($f_{ck,cube}$) N/mm^2 mértékegységben, például: C20/25.

Az MSZ EN 206-1:2002 európai betonszabvány magyar nemzeti alkalmazási szabványa (MSZ 4798-1:2004) szerint a nyomószilárdság vizsgálati próbatesteket szabad vegyesen is tárolni. Ebben az esetben a mért $f_{ci,H}$ nyomószilárdságot át kell számítani a víz alatt tárolt próbatest f_{ci} nyomószilárdságára (lásd a *31. ábrát*). A kizsaluzást követő végig víz alatti tárolástól való eltérést az MSZ EN 12390-2:2009 szabvány 5.5.3. szakasza is megengedi.

Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szerinti „jellemző érték" az MSZ EN 1992 (Eurocode 2) és az MSZ EN 1994 (Eurocode 4) szerinti „karakterisztikus érték" megfelelője.

A nyomószilárdsági osztályokat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7. és 8. táblázata tartalmazza. A közönséges betonok nyomószilárdsági osztálya C8/10 – C100/115 közötti, a nehézbetonoké HC8/10 – HC100/115 közötti (*13. táblázat*), a könnyűbetonoké LC8/9 – LC80/88 közötti (*14. táblázat*). A beton *C*, *HC*, *LC* betűjelét a nyomószilárdsági osztály kettős számjele előtt – azzal egybeírva – kell feltüntetni.

Nagyszilárdságú a közönséges beton, ha a nyomószilárdsági osztályának jele legalább C55/67, a nehézbeton akkor, ha a nyomószilárdsági osztályának jele legalább HC55/67, és a könnyűbeton pedig akkor, ha a nyomószilárdsági osztályának jele legalább LC55/60. A gyakorlatban nagyszilárdságúnak nevezik a betont, ha az átlagos nyomószilárdsága (60-130) N/mm^2 között van.

Az *ultra nagy szilárdságú* beton tulajdonságaival az MSZ 4798-1:2004 szabvány nem foglalkozik. Ultra nagy szilárdságúnak nevezik a betont, ha tapasztalati jellemző értéke legalább mintegy 10 %-kal nagyobb, mint az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti C100/115 nyomószilárdsági osztályú közönséges beton és HC100/115 nyomószilárdsági osztályú nehézbeton, vagy LC80/88 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton nyomószilárdságának előírt jellemző értéke. Átlagos nyomószilárdsága általában legalább 150 N/mm^2, és elérheti a 250, esetleg 300 N/mm^2 értéket is.

A beruházónak, a vevőnek jogában áll a nyomószilárdsági osztályon kívül a szerkezetbe beépítésre kerülő beton nyomószilárdsági osztályának teljesítési biztonsági szintjét is előírni, amely a beton nyomószilárdsági osztály meghatározásában jelenik meg, és az átadás-átvétel feltételét is képezi. A nyomószilárdsági osztály teljesítésének biztonsági szintjét az építmény megvalósításával kapcsolatos szerződésekben rögzíteni kell.

A felek megállapodhatnak az MSZ EN 206-1:2002 európai, illetve MSZ 4798-1:2004 nemzeti szabvány szerinti nyomószilárdsági osztályoktól eltérő nyomószilárdsági követelmények alkalmazásában is.

13. táblázat: Közönséges betonok és nehézbetonok nyomószilárdsági osztálya

Nyomószilárdsági osztály			Hengerszilárdság előírt jellemző (karakterisztikus) értéke $f_{ck,cyl}$ N/mm²	Kockaszilárdság előírt jellemző (karakterisztikus) értéke $f_{ck,cube}$ N/mm²
Közönséges beton		Nehézbeton		
C8/10		HC8/10	8	10
C12/15		HC12/15	12	15
C16/20		HC16/20	16	20
C20/25		HC20/25	20	25
C25/30		HC25/30	25	30
C30/37		HC30/37	30	37
C35/45		HC35/45	35	45
C40/50		HC40/50	40	50
C45/55		HC45/55	45	55
C50/60		HC50/60	50	60
Nagyszilárdságú	C55/67	HC55/67	55	67
	C60/75	HC60/75	60	75
	C70/85	HC70/85	70	85
	C80/95	HC80/95	80	95
	C90/105	HC90/105	90	105
	C100/115	HC100/115	100	115

14. táblázat: Könnyűbetonok nyomószilárdsági osztálya

Nyomószilárdsági osztály		Hengerszilárdság előírt jellemző (karakterisztikus) értéke $f_{ck,cyl}$ N/mm²	Kockaszilárdság előírt jellemző (karakterisztikus) értéke $f_{ck,cube}$ N/mm²
LC8/9		8	9
LC12/13		12	13
LC16/18		16	18
LC20/22		20	22
LC25/28		25	28
LC30/33		30	33
LC35/38		35	38
LC40/44		40	44
LC45/50		45	50
LC50/55		50	55
Nagy-szilárdságú	LC55/60	55	60
	LC60/66	60	66
	LC70/77	70	77
	LC80/88	80	88

7.2. MÉRTÉKADÓ NYOMÓSZILÁRDSÁGI OSZTÁLY MEGHATÁROZÁSA

Az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály és a környezeti feltételek *(könyvünk 17. táblázata*) alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott, szükséges nyomószilárdsági osztály (lásd *könyvünk 8.2. fejezetét*) közül általában a nagyobb nyomószilárdsági osztályt kell mértékadónak tekinteni.

Ennek értelmében, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály nagyobb, mint a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott, szükséges nyomószilárdsági osztály, akkor természetesen az erőtani számítás eredménye alapján megállapított nyomószilárdsági osztály a mértékadó.

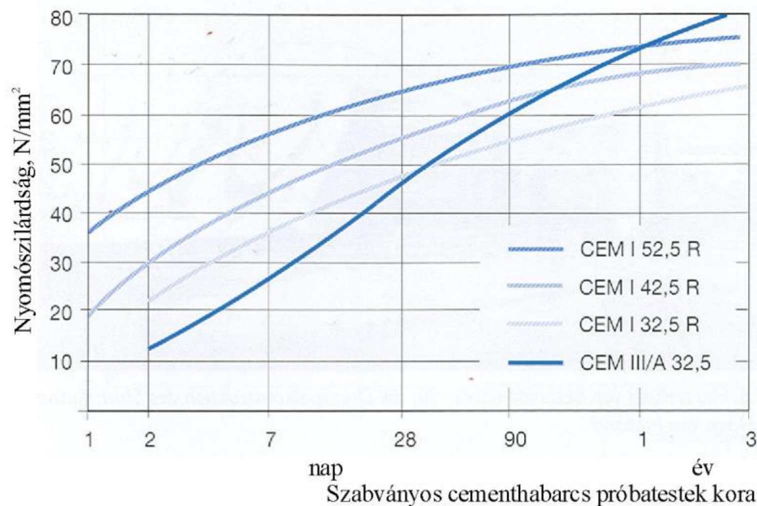
Ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály kisebb, mint a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott, szükséges nyomószilárdsági osztály, akkor a mértékadó nyomószilárdsági osztály kiválasztása tekintetében két eset lehetséges:

- ha az adott építmény esetén felelősséggel nem bizonyított, hogy az erőtani számítással megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti hatásoknak ellenálló beton készítéséhez elegendő, akkor a környezeti feltételek alapján a környezeti osztályok társításából (*könyvünk 8.2. fejezete*) adódó nyomószilárdsági osztályt (könyvünk *17. táblázata*) *kell* mértékadónak tekinteni;
- ha az adott építmény esetén felelősséggel és írásban bizonyítják, hogy az erőtani számítással megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti hatásoknak – a tervezési élettartam alatt – ellenálló beton készítéséhez elegendő, akkor az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztályt *lehet* mértékadónak tekinteni.

Annak, hogy a beton erőtani számítással meghatározott szükséges nyomószilárdsági osztálya kisebb, mint a környezeti feltételek alapján a környezeti osztályok társításából (*könyvünk 8.2. fejezete*) adódó nyomószilárdsági osztály (könyvünk *17. táblázata*), és írásban bizonyítják, hogy az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály elegendő a környezeti hatásoknak a tervezett használati élettartam alatt ellenálló beton készítéséhez, jellegzetes példáját adhatja a CEM III jelű kohósalakcement (MSZ EN 197-4:2004) alkalmazása.

A CEM III/A kohósalakcement utószilárdulása (*8. ábra*) 90 napos korig a 28 napos nyomószilárdságnak általában a 30-40 %-át, a CEM III/B kohósalakcementé pedig a 20-25 %-át teszi ki. Ezért feltételezhető, hogy a CEM III kohósalakcementtel gondosan készített és utókezelt beton nyomószilárdsági osztálya 90 napos korra eléri a környezeti feltételek alapján a környezeti osztályok társításából (*könyvünk 8.2. fejezete*) adódó nyomószilárdsági osztályt. Nem kizárt tehát, hogy bizonyítható: CEM III kohósalakcement alkalmazása esetén az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges – a környezeti osztály nyomószilárdsági követelményénél kisebb – 28 napos korra vonatkozó nyomószilárdsági osztály elegendő a környezeti hatásoknak a tervezett használati élettartam alatt ellenálló beton készítéséhez.

Bármiképpen történik is a mértékadó nyomószilárdsági osztály meghatározása, a meghatározott mértékadó nyomószilárdsági osztályhoz betontechnológiailag tartozó víz-cement tényezőt, cementtartalmat, adott esetben cementfajtát, valamint a friss beton megengedett vagy megkövetelt levegő-tartalmát, illetve az ebből adódó megkövetelt friss beton testsűrűséget kell a betongyártáshoz követelményként elfogadni, illetve előírni. Ezek a betontechnológiailag elfogadott és előírt értékek (víz-cement tényező, cementtartalom, cementfajta, a friss beton levegőtartalma) elégítsék ki a vonatkozó környezeti osztályok követelményeit is.



8. ábra: Cementek szilárdulási folyamata (*Rendchen* 2002)

A környezeti feltételek nyomószilárdsági osztályának teljesülési idejétől függetlenül az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges, szabványos nyomószilárdsági osztály mindig a beton 28 napos korára vonatkozik, és akkor kell teljesülnie. Ez alól ritka kivételt képezhet, ha a tervező a szükséges a cementfajta (például CEM III/A) megjelölésével – például tömegbeton esetén – az erőtani követelményt nem 28 napos, hanem későbbi korra (például 60, 90 nap) vonatkoztatja.

Fentieket már az építmény megvalósítási szerződésében, illetve annak mellékletében rögzíteni szükséges.

Említésre méltó az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány 4.2. szakaszában lévő megjegyzés is: Az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány 4.2. szakaszának megjegyzése szerint a beton összetétele befolyásolja mind a vasalás védelmét, mind a beton környezeti hatásokkal szembeni ellenállását. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány E mellékletében lévő E1N táblázat a különböző környezeti osztályokhoz előirányzott betonszilárdsági osztályokat tartalmazza, lényegében az MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 szabvány F1. táblázatával azonos módon. Ez az erőtani tervezéshez szükségesnél magasabb szilárdsági osztályok alkalmazásához vezethet. Ilyen esetekben a minimális acélmennyiség számításakor és a repedéstágasság vizsgálatakor a magasabb szilárdsághoz tartozó f_{ctm} értéket (a beton tengelyirányú húzószilárdságának átlagos értékét) kell figyelembe venni. A beton f_{ct} tengelyirányú húzószilárdságának és $f_{ct,sp}$ hasító-húzószilárdságának közelítő összefüggése az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány 3.1.2. szakaszának (8) bekezdése szerint: $f_{ct} = 0{,}9 \cdot f_{ct,sp}$. A beton hasító-húzószilárdságának a jele az MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 szabványban: f_{tk}.

7.3. KÜLÖNBÖZŐ KOROK MYOMÓSZILÁRDSÁGI OSZTÁLYAINAK MEGFELELTETÉSE

Az egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztályait a *15.* és a *16. táblázatban* vetettük össze. A *15.* és a *16. táblázat* gyakorlati alkalmazásának alapvetően két területe látszik.

Egyrészt a *15. táblázat* segítségével – amelyben az összevetés alapját a 2002 előtti szabványok képezik – a 2002 előtti szabványokban, előírásokban, irodalmi közlésekben és terv dokumentációkban szereplő, legfeljebb C50/60 nyomószilárdsági osztályok a mai előírások szerint értelmezhetők, feltéve, ha az összevetésnek az egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok nyomószilárdsági osztálya képezi az alapját. Például az egykori B 400 nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdsága az 1982-2002 közötti C 20 (és legfeljebb C 25) nyomószilárdsági osztályú betonok átlagos nyomószilárdságának, továbbá a mai Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerinti C20/25 (és legfeljebb C25/30), illetve MSZ EN 206-1:2000 szerinti C25/30 (és legfeljebb C30/37) nyomószilárdsági osztályú betonok átlagos nyomószilárdságának felel meg.

Másrészt a *16. táblázat* segítségével – amelyben az összevetés alapját az Eurocode 2 szabvány képezi – meg lehet vizsgálni, hogy a mai nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdsága mely 2002 előtti nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdságának felel meg. Például az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1.1:2010) szerinti C25/30, illetve az MSZ EN 206-1:2002 szerinti C30/37 nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdsága az 1982-2002 közötti legalább C 25 (és legfeljebb C 30) nyomószilárdsági osztályú betonok átlagos nyomószilárdságának, továbbá az egykori B 400 (és legfeljebb B 500) nyomószilárdsági osztályú beton átlagos nyomószilárdságának felel meg.

A *16. táblázat* jól érzékelteti az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) méretezési szabvány és az MSZ EN 206-1:2002, illetve annak nemzeti alkalmazási dokumentuma, az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány eltérő felfogásának esetleges következményét is. Ha az Eurocode 2 alapján készített tervdokumentáció szerint valamely szerkezet elkészítéséhez például C25/30 nyomószilárdsági osztályú betonra van szükség, akkor a betont lehet, hogy az MSZ EN 206-1:2002 szerinti C30/37 minőségben kell elkészíteni ahhoz, hogy a tervezett és a gyártott beton átlagos nyomószilárdsága egymásnak megfeleljen. Ha a gyártó ezt nem veszi figyelembe, és a betont az MSZ EN 206-1:2002 szerinti C25/30 minőségben szállítja, akkor azt át fogja tudni adni, ha az átadás-átvételi eljárás során a beton átlagos nyomószilárdságából a nyomószilárdsági osztályt az MSZ EN 206-1:2002 betonszabvány szerint számítják ki, de nehézségei lehetnek, ha a nyomószilárdsági osztály meghatározását a beruházó, a tervező vagy a vevő az Eurocode 2 méretezési szabvány felfogásában követeli meg. Például legyen egy beton kizsaluzás után végig víz alatt tárolt 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahengereken értelmezett átlagos nyomószilárdsága $f_{cm,cyl,test}$ = 31,2 N/mm², amelynek tapasztalati jellemző értéke az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány szerint $f_{cm,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - \lambda_5 \cdot s_{min} = 31{,}2 - 1{,}99 \cdot 2{,}2 = 26{,}8$ N/mm², és ebből kifolyólag a nyomószilárdsági osztálya C25/30, és ezt a gyártó jóhiszeműen leszállítja. Ha ennek a betonnak a nyomószilárdságát átvételkor a megrendelő nem az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint, hanem az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) előírása szerint ellenőrzi, akkor a beton tapasztalati jellemző értékére $f_{cm,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 8 = 31{,}2 - 8 = 23{,}2$ N/mm² adódik, amely csak C20/25 jelű nyomószilárdsági osztálynak felel meg. Ha szóban forgó betont a gyártó $f_{cm,cyl,test}$ = 35,4 N/mm² átlagos nyomószilárdsaággal készítette volna el, akkor igaz, hogy annak az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a tapasztalati jellemző értéke $f_{cm,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - \lambda_5 \cdot s_{min} = 35{,}4 - 1{,}99 \cdot 2{,}2 = 31{,}0$ N/mm² és a nyomószilárdsági osztálya C30/37, tehát a megrendeltnél egy osztállyal nagyobb, de a beton Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerinti átadása során nem támadtak volna nehézségei, mert a beton $f_{cm,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 8 = 35{,}4 - 8 = 27{,}4$ N/mm²

tapasztalati karakterisztikus (jellemző) értékűnek és C25/30 nyomószilárdsági osztályúnak minősült volna.

Az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2010) méretezési szabvány és az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 betonszabvány eltérő karakterisztikus (jellemző) érték számítási felfogásából eredő esetleges vita ellen szerződéskötéskor kell védekezni.

15. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos (normál, nem nagyszilárdságú) nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztályainak összevetése, ha *az összevetés alapját a 2002 előtti szabványok képezik*

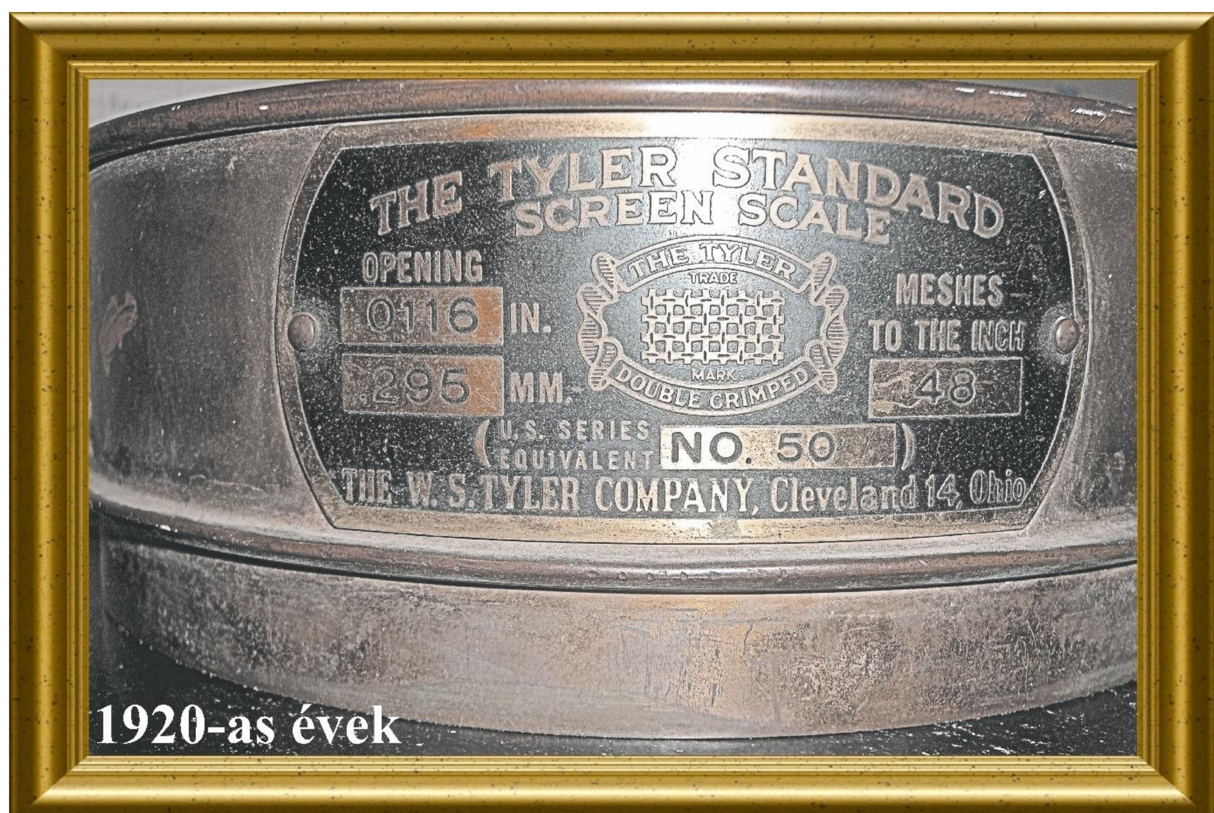
Összevetés alapját képező szabvány	Szabványos nyomószilárdsági osztályok				
	1951-1982 között	1982-2002 között	**2002 óta**		
2002 előtti	**B 140**	C 4	–	–	–
2002 előtti	**B 200**	C 6	–	C12/15	C12/15
			C8/10		
		C 10	**C12/15**	C16/20	C16/20
2002 előtti	**B 280**	C 12	**C12/15**	C16/20	C16/20
			C16/20	C20/25	C20/25
2002 előtti	**B 350***	C 16	**C16/20**	C25/30	C20/25
			C20/25		C25/30
2002 előtti	**B 400**	C 20	**C20/25**	C25/30	C25/30
		C 25	**C25/30**	C30/37	C30/37
2002 előtti	**B 500***	C 30	**C25/30**	C30/37	C30/37
			C30/37	C35/45	
2002 előtti	**B 560**	C 35	**C30/37**	C40/50	C40/50
			C35/45		
2002 előtti	–	C 40	**C35/45**	C40/50	C40/50
			C40/50	C45/55	C45/55
2002 előtti	–	C 45	**C40/50**	C45/55	C45/55
2002 előtti	–	C 50	**C40/50**	C50/60	C50/60
			C45/55		
2002 előtti	–	C 55	**C45/55**	C55/67	C55/67
			C50/60		
Magyarázat a táblázat oszlopaihoz	*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárd-sági osztály az 1982 előtti Vasúti Híd-szabályzatban szerepelt	MSZ 4720-2:1980	**Eurocode 2** ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010	Kezdeti gyártás esetén	Folyamatos gyártás esetén
		Ha $n = 5$ $t = 2,132$ s = ismeretlen		MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004	
		Elfogadási valószínűség: 50 %			Elfogadási valószínűség: 70 %

16. táblázat: Egymásnak megfelelő átlagos (normál, nem nagyszilárdságú) nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztályainak összevetése, ha *az összevetés alapját az Eurocode 2 szabvány képezi*

Összevetés alapját képező szabvány	Szabványos nyomószilárdsági osztályok				
	1951-1982 között	1982-2002 között	**2002 óta**		
Eurocode 2	**B 140**	C 4	–	–	–
	B 200	C 6	–	C12/15	C12/15
Eurocode 2	**B 200**	C 6	**C8/10**	C12/15	C12/15
Eurocode 2	**B 200**	C 10	**C12/15**	C16/20	C16/20
	B 280	C 12			
Eurocode 2	**B 280**	C 12	**C16/20**	C20/25	C20/25
	B 350*	C 16		C25/30	
Eurocode 2	**B 350***	C 16	**C20/25**	C25/30	C25/30
	B 400	C 20			
Eurocode 2	**B 400**	C 25	**C25/30**	C30/37	C30/37
	B 500*	C 30			
Eurocode 2	**B 500***	C 30	**C30/37**	C35/45	C30/37
	B 560	C 35		C40/50	C40/50
Eurocode 2	**B 560**	C 35	**C35/45**	C40/50	C40/50
	–	C 40			
Eurocode 2	–	C 40	**C40/50**	C45/55	C45/55
		C 45			
		C 50		C50/60	C50/60
Eurocode 2	–	C 50	**C45/55**	C50/60	C50/60
		C 55		C55/67	C55/67
Eurocode 2	–	C 55	**C50/60**	C55/67	C55/67
Magyarázat a táblázat oszlopaihoz	*A B 350 és B 500 jelű nyomószilárd-sági osztály az 1982 előtti Vasúti Híd-szabályzatban szerepelt	MSZ 4720-2:1980	**Eurocode 2** ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010	Kezdeti gyártás esetén	Folyamatos gyártás esetén
		Ha $n = 5$ $t = 2{,}132$ s = ismeretlen		MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004	
		Elfogadási valószínűség: 50 %			Elfogadási valószínűség: 70 %

Összegezve: A betonszilárdság jellemzésének módja az utóbbi hatvan évben többször változott. A régebbi betonjelölések a ma szabványos betonjelölésekkel megfeleltethetők, de a szilárdság átszámító összefüggések kizárólag az egyedi, illetve az átlagos nyomószilárdságok kapcsolatának kifejezésére alkalmasak, és teljesen alkalmatlanok a különböző időszakonkénti nyomószilárdságok jellemző (karakterisztikus) értékének, illetve nyomószilárdsági osztályának közvetlen átszámítására, hiszen az átlagos nyomószilárdságok viszonyát az alulmaradási tágasság ($t_n \cdot s$, illetve $\lambda_n \cdot s$) eltorzítja.


1 bécsi font =
=32 bécsi lat
16 lat +
+8
+4
+ 2 +
+ hiányzik
+1
+0,5
0,5 lat =
= 32 lat
kb. 1850.
1 bécsi lat ~ 17,5 g
1 bécsi font ~ 560,1 g


THE TYLER STANDARD
SCREEN SCALE
OPENING
0116 IN.
.295 MM.
THE TYLER
TRADE
MARK
DOUBLE CRIMPED
MESHES
TO THE INCH
48
U.S. SERIES
EQUIVALENT
NO. 50
THE W. S. TYLER COMPANY, Cleveland 14, Ohio
1920-as évek

8. KÖRNYEZETI OSZTÁLY

8.1. KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK KÖVETELMÉNYE

A beton tartóssága érdekében az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 4. fejezete környezeti osztályokat (kitéti osztályokat) vezet be, és ezek követelményeire az F. mellékletben, illetve az F1. táblázatban ad ajánlást. A Magyarországon kötelezően alkalmazandó környezeti osztályok az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány – az MSZ EN 206-1:2002 honosított európai szabvány magyar nemzeti alkalmazási dokumentuma (NAD) – NAD F1. táblázatában találhatók.

E táblázatokban szereplő követelmények betartásával 50 év beton használati élettartam várható.

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány F1. táblázatának az értékei az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti CEM I fajtájú 32,5 szilárdsági osztályú cementnek és a 20-32 mm legnagyobb névleges szemnagyságú adalékanyagnak a felhasználására vonatkoznak.

Amennyiben a tervezési élettartam eltér az 50 évtől, vagy ha nem CEM I 32,5 osztályú cementet, vagy nem 20-32 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyagot kívánnak a betonkeverékhez alkalmazni, akkor a felhasználható betonösszetételek és az elérendő betontulajdonságok meghatározását e kérdésben jártas szakértőre, illetve betontechnológusra kell bízni.

A környezeti osztályok követelményei szempontjából a beton nyomószilárdsága és a víz-cement tényező közül a víz-cement tényező a döntő: hiába nagyobb az 52,5 vagy 42,5 szilárdsági osztályú cementtel készített beton nyomószilárdsága, mint a 32,5 szilárdsági osztályú cementtel készítetté, a víz-cement tényezőt a – az MSZ EN 206-1:2002 szabvány F1. táblázatában, illetve az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány NAD F1. táblázatában szereplő – megengedett legnagyobb értékhez képest megnövelni nem szabad.

Az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány a környezeti osztályokat az MSZ EN 206-1:2002 szabványhoz képest a kis szilárdságú betonokra, a légbuborék nélküli fagyálló betonokra, a kopásálló betonokra, a vízzáró betonokra és a megengedett vagy a megkövetelt levegő-tartalom előírásával lényegében a bedolgozott friss betonok testsűrűségére is kiterjeszti, és a környezeti osztályok alkalmazását, és e követelmények betartását *az európai szabványt meghaladó módon kötelezővé teszi*.

A magyar környezeti osztályok és követelmények a legalább 50 év tervezési élettartamú, CEM I 32,5 osztályú cementtel és 20-32 mm legnagyobb névleges szemnagyságú adalékanyaggal készített betonokra a *17. táblázatban* találhatók (*Kausay* 2009).

A *17. táblázatban* az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD F1. táblázatában helytelenül szereplő megkövetelt testsűrűségek helyett a friss beton megengedett, illetve légbuborékképzős fagyálló beton esetén a megkövetelt levegőtartalmát adtuk meg. A bedolgozott friss beton testsűrűségének meghatározásával könyvünk *10.1. fejezetében,* a bedolgozott friss beton levegőtartalmának meghatározásával a *11.1. fejezetben* foglalkozunk.

A különböző környezeti osztályokban alkalmazandó, illetve tiltott cement fajtákra a nemzetek (például a németek, az osztrákok, a franciák, a svédek) a betonszabványaikban ajánlásokat adnak, amelyek figyelembevételével és a hazai szempontok mérlegelésével Magyarországon is tudatosítani kell a cementeknek a beton tartóssága szempontjából, a környezeti hatásoknak megfelelően történő kiválasztása fontosságát (*47. táblázat*).

17. táblázat: Beton környezeti osztályai

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább [1]	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma [2], legfeljebb, térfogat%
Környezeti hatásoknak ellen nem álló, azoknak ki nem tett beton szerkezetek betonja					
Környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, kloridhatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló beton	XN(H)	C8/10	(165) [3]	(0,90) [3]	(2,5) [3]
	A beton szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű Például: Aljzatbeton, beton alapréteg, cement-stabilizáció				
	X0b(H)	C12/15	(230) [3]	(0,75) [3]	(2,0) [3]
	Például: Vasalatlan alapbeton, kitöltő és kiegyenlítő beton, üreges födémbéléstest, üreges válaszfallap, üreges zsaluzóelem, kétrétegű járdalap hátbetonja, kétrétegű útburkolóelem hátbetonja, üreges pince-falazóelem, belső főfali üreges főfal-falazóelem, belső főfali tömör főfal-falazóelem				
Környezeti hatásoknak ellen nem álló, azoknak ki nem tett vasbeton szerkezetek betonja					
Környezeti hatásoknak nem ellenálló vasbeton, legfeljebb 35% relatív páratartalmú vagy levegőtől elzárt, száraz helyen lévő vasbeton	X0v(H)	C20/25 *	(250) [3]	(0,70) [3]	(2,0) [3]
	* Megjegyzés: Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint C20/25 nyomószilárdsági osztályúnál gyengébb betonból vasbetont készíteni nem szabad. Például: Vasalt alapbeton				
Karbonátosodásnak ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Száraz vagy tartósan nedves helyen, állandóan víz alatt	XC1	C20/25	260	0,65	2,0
	Például: Belső pillér, belső födém				
Nedves, ritkán száraz helyen	XC2	C25/30	280	0,60	2,0
	Például: Épületalap, támfalalap, mélyalap, kiegyenlítő lemez				
Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben vagy a szabadban, esőtől védett helyen	XC3	C30/37	280	0,55	2,0
	Például: Fürdőépület szerkezete				
Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen	XC4	C30/37	300	0,50	2,0
	Például: Szárnyfal, pincefal, fúrt cölöp, cölöp-fejgerenda				
Kloridoknak ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Mérsékelten nedves helyen, levegőből származó kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	XD1	C30/37	300	0,55	2,0
	Például: Vegyipari üzemek környezetében, a szabadban lévő szerkezetek				
Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	XD2	C30/37	300	0,55	2,0
	Például: Alépítmény, szárnyfal, kloridtartalmú talajvízzel vagy ipari vízzel érintkező építmény, medence, úszómedence				
Váltakozva nedves és száraz helyen, jégolvasztó kloridok permetének kitett korrózióálló beton	XD3	C35/45	320	0,45	2,0
	Magyarországon a fagy/olvadási ciklusoknak és jégolvasztó sóknak kitett betonokat az XD3 környezeti osztály helyett az XF4 környezeti osztályba kell sorolni. Például: Hídelemek, járdák, parkolóházak és garázsok burkolata				

A 17. táblázat folytatódik

A 17. táblázat folytatása

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább [1)]	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m³	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma [2)], legfeljebb, térfogat%
Függőleges felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF1	C30/37	300	0,55	1,5
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	XF2	C25/30	300	0,55	[6)]
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. A friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Lásd a [6)] megjegyzést Példa: Útépítési szerkezetek				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	XF2(H) [4)]	C35/45	320	0,50	1,0
	Légbuborékképző adalékszer *nélkül* készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek Alkalmazása út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek esetén **tilos!**				
Vízszintes felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF3	C30/37	320	0,50	[6)]
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. A friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Lásd a [6)] megjegyzést Példa: Útépítési szerkezetek, híd pályalemezek				
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF3(H) [4)]	C35/45	320	0,50	1,0
	Légbuborékképző adalékszer *nélkül* készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek Alkalmazása út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek esetén **tilos!**				
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, fagyálló beton	XF4	C30/37	340	0,45	[6)]
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. A friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Lásd a [6)] megjegyzést Például: Útpályabeton, repülőtéri kifutópálya, híd pályalemezek				
Természetes talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány különbséget tesz az oldódásos (XAL) és a szulfátos duzzadásos (XAT) betonkorrózió között (*39.* és *40. táblázat*)					
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, enyhén korrózióálló beton	XA1	C30/37	300	0,55	2,0
	Duzzadásos korrózió (XA1T) esetén bármely MSZ EN 197-1:2011 szerinti CEM II fajtájú kohósalak-portlandcement alkalmazható. XA1T duzzadásos korrózió esetén a CEM II/A-L és a CEM II/B-L fajtájú mészkőliszt-portlandcementet nem szabad használni. Például: Fúrt cölöp, szennyvíz ülepítőmedence, trágyalé tartály				

A 17. táblázat folytatódik

A 17. táblázat folytatása

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább 1)	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m³	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma 2), legfeljebb, térfogat%
Természetes talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány különbséget tesz az oldódásos (XAL) és a szulfátos duzzadásos (XAT) betonkorrózió között (*39.* és *40. táblázat*)					
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, mérsékelten korrózió- és szulfátálló beton	XA2	C30/37	320	0,50	2,0
	Duzzadásos korrózió (XA2T) esetén az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti SR jelű szulfátálló cementek, illetve az MSZ 4737-1:2002 szerinti CEM I vagy CEM II fajtájú MS jelű mérsékelten szulfátálló vagy S jelű szulfátálló portlandcement, vagy CEM III/A fajtájú MS jelű kohósalakcement, vagy CEM III/B szulfátálló kohósalakcement alkalmazható. XA2T duzzadásos korrózió esetén a CEM II/A-L és a CEM II/B-L fajtájú mészkőliszt-portlandcementet nem szabad használni. Például: Fúrt cölöp, tengervízzel vagy agresszív talajjal érintkező beton				
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, erősen korrózió- és szulfátálló beton	XA3	C35/45	360	0,45	2,0
	Duzzadásos korrózió (XA3T) esetén az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti SR jelű szulfátálló cementek, illetve az MSZ 4737-1:2002 szerinti CEM I vagy CEM II fajtájú S jelű szulfátálló portlandcement, vagy CEM III/B fajtájú szulfátálló kohósalakcement alkalmazható. XA3T duzzadásos korrózió esetén a CEM II/A-L és a CEM II/B-L fajtájú mészkőliszt-portlandcementet nem szabad használni. Az XA3 környezeti osztályban – egyéb óvintézkedés hiányában – például védőréteggel kell a betont ellátni (DIN 1045-2:2008). Például: Fúrt cölöp, agresszív anyagok tárolótere, kémiai korróziót okozó ipari szennyvízzel érintkező beton, állatetető vályú, hűtőtorony füstgáz elvezetéssel				
Kopásálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Mérsékelten kopásálló, k14/21 jelű kavics- vagy zúzottkőbeton	XK1(H)	C30/37	310	0,50	2,0
	Például: Siló, bunker, tartály könnyű anyagok tárolására, garázspadozat, lépcső, járólap, kopásálló réteggel ellátandó ipari padlóburkolat kopásálló réteg nélkül				
Mérsékelten kopásálló, k14/21 jelű, légbuborékképzővel készülő kavics- vagy zúzottkőbeton	XK1(H) + XF4	C30/37	320	0,50	6)
	Például: Sabadban lévő, fagyálló lépcső, járólap				

A 17. táblázat folytatódik

A 17. táblázat folytatása

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább 1)	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma 2), legfeljebb, térfogat%
Kopásálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Kopásálló, k12/18 jelű zúzottkőbeton	XK2(H)	C35/45	330	0,45	2,0
	Például: Nehéz anyagok tárolója, gördülő hordalékkal érintkező beton, egyrétegű járdalap és monolit járda, kétrétegű járdalap kopórétege, közönséges útszegélyelem, lépcső, vasbeton lépcső, aknafedlap				
Kopásálló, k12/18 jelű, légbuborékképzővel készülő zúzottkőbeton, amely eső, fagy, jégolvasztó sók hatásának ki van téve	XK2(H) + XF4	C35/45	340	0,45	6)
	Például: Szabadban lévő, fagyálló egyrétegű járda és monolit járdalap, kétrétegű járdalap kopórétege, közönséges útszegélyelem, lépcső, aknafedlap				
Fokozottan kopásálló, k10/15 jelű zúzottkőbeton	XK3(H)	C40/50	350	0,40	2,0
	Például: Egyrétegű útburkolóelem, kétrétegű útburkolóelem kopórétege, kopásálló útszegélyelem, vasalatlan útpályaburkolat, repülőtéri pályaburkolat, konténer átrakó állomás térburkolata				
Fokozottan kopásálló, k10/15 jelű, légbuborék-képzővel készülő zúzottkőbeton, amely eső, fagy, jégolvasztó sók hatásának ki van téve	XK3(H) + XF4	C40/50	360	0,40	6)
	Például: Egyrétegű útburkolóelem, kétrétegű útburkolóelem kopórétege, kopásálló útszegélyelem, útpályaburkolat, repülőtéri pályaburkolat, konténer átrakó állomás térburkolata				
Igen kopásálló, k8/12 jelű zúzottkőbeton	XK4(H)	C45/55	370	0,35	2,0
	Például: Ipari padlóburkolat, amelyre nem kerül kopóréteg				
Különlegesen kopásálló, k6/9 jelű zúzottkőbeton	XK5(H)	C50/60	390	0,35	1,0
	Például: Vibropréselt térburkolóelem				
Vízzáró beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja 5)					
vz60 jelű vízzáró beton	XV1(H)	C25/30	300	0,60	1,0
	Például: Pincefal, csatornafal, mélyalap, áteresz, folyóka, surrantóelem, mederlap, mederburkolóelem, rézsűburkolat, legfeljebb 1,0 m magas víztároló medence, záportározó, esővízgyűjtő akna				
vz40 jelű fokozottan vízzáró beton	XV2(H)	C30/37	300	0,55	1,0
	Például: Vízépítési szerkezetek, gátak, partfalak, 1 m-nél magasabb víztároló medence, föld alatti garázs, aluljáró külön szigetelőréteg nélkül, földalatti alaptestek, kiegyenlítő lemezek				
vz20 jelű igen vízzáró beton	XV3(H)	C30/37	300	0,50	1,0
	Például: Mélygarázs, mélyraktár, alagút külön szigetelőréteg nélkül				

A 17. táblázat folytatódik

A 17. táblázat folytatása

1) Az MSZ 4798-1 szabvány szerinti F1. táblázatban szereplő legkisebb (itt legalább) *nyomószilárdsági osztály tájékoztató adat*. Lásd még *könyvünknek* a mértékadó nyomószilárdsági osztály meghatározásával foglalkozó *7.2. fejezetét*.
2) A friss beton levegő-tartalma feszített vasbeton esetén a táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal legyen kisebb. Ha a beton újrahasznosított adalékanyaggal készül, akkor a friss beton levegő-tartalma a táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal nagyobb lehet.
3) Ajánlott értékek.
4) Az XF2(H) és XF3(H) környezeti osztályt a BV-MI 01:2005 „Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával" című beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv vezette be XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) jelöléssel.
5) Ha a vízzáró betont fagyhatás éri, akkor a megfelelő XF környezeti osztály, ha agresszív környezetben fekszik, akkor a vonatkozó XA, XD esetleg XS környezeti osztály követelményeit is figyelembe kell venni. A fagy- és a kémiai hatás a beton szükséges szerkezeti falvastagságának és megengedett repedéstágasságának értékét is befolyásolhatja.
6) Követve az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10 táblázatának előírását, a légbuborékképző adalékszerrel készített friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának (légpórus + légbuborék) értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Eszerint:

Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Legnagyobb szemnagyság, mm	Összes levegő-tartalom a *friss betonban*, térfogat%	
4	4,0 – 6,0	7,0 – 11,0
8 és 12	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
24 és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0

8.2. KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK TÁRSÍTÁSA

Ha a betont többféle környezeti hatás éri, akkor „azokat a környezeti körülményeket, amelyeknek a beton ki van téve, szükséges lehet a környezeti osztályok kombinációjaként kifejezni." (EN 206-1:2000 szabvány 4.1. szakasz).

Például valamely esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli, agresszív talajvízzel érintkező vasbeton támfal légbuborékképző adalékszer nélkül, szulfátálló cementtel készülő betonjának környezeti osztály csoportja a hatások összegzésével: XC4, XF1, XA2, XV1(H), és szükséges nyomószilárdsági osztálya legalább C30/37, cementtartalma legalább 320 kg/m^3, víz-cement tényezője legfeljebb 0,5, a bedolgozott friss beton levegő-tartalma legfeljebb 1,0 térfogat% legyen.

A kopásálló (k12/18 jelű), illetve a fokozottan kopásálló (k10/15 jelű) és egyidejűleg fagyálló, eső, fagy, jégolvasztó sók hatásának ki tett, légbuborékképzővel készülő zúzottkőbeton társított környezeti osztálya a kopásállóság és a fagyállóság feltételének összegzésével a *17. táblázat* szerint: XK2(H), XF4, illetve XK3(H), XF4.

9. KONZISZTENCIA OSZTÁLY

9.1. KÖZÖNSÉGES BETON KONZISZTENCIA OSZTÁLYAI

Az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány a közönséges friss betont konzisztenciája alapján a négyféle szabványos konzisztencia vizsgálati módszer és a beton folyóssága szerint sorolja osztályba. A szabvány a négyféle konzisztencia mérték (mérési módszer) között betűjellel tesz különbséget: roskadási mérték (S), terülési mérték (F), VEBE mérték (V), tömörítési mérték (C), a konzisztencia osztályt pedig a megfelelő betűjel és a beton folyósságával növekvő, az adott konzisztencia mérték tartományhoz rendelt számjel társításával jelöli (*18. – 21. táblázatok*).

18. táblázat: Roskadási osztályok az MSZ 4798-1:2004 szerint

Osztály	Roskadási mérték mm
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5 [1)]	≥ 220
A roskadási mértéket az MSZ EN 12350-2:2009 szerint kell meghatározni. [1)] A módszer e tartományban kevéssé érzékeny.	

19. táblázat: Terülési osztályok az MSZ 4798-1:2004 szerint

Osztály	Terülési átmérő (Terülési mérték) mm
F1 [1)]	≤ 340
F2	350 – 410
F3	420 – 480
F4	490 – 550
F5	560 – 620
F6 [1)]	≥ 630
A terülési mértéket az MSZ EN 12350-5:2009 szerint kell meghatározni. [1)] A módszer e tartományban kevéssé érzékeny.	

20. táblázat: VEBE osztályok az MSZ 4798-1:2004 szerint

Osztály	*VEBE*-méteres átformálási idő (*VEBE*-mérték) s
V0 [1)]	≥ 31
V1	30 - 21
V2	20 - 11
V3	10 - 6
V4 [1)]	5 – 3
A Vebe-méteres átformálási időt az MSZ EN 12350-3:2009 szerint kell meghatározni. [1)] A módszer e tartományban kevéssé érzékeny.	

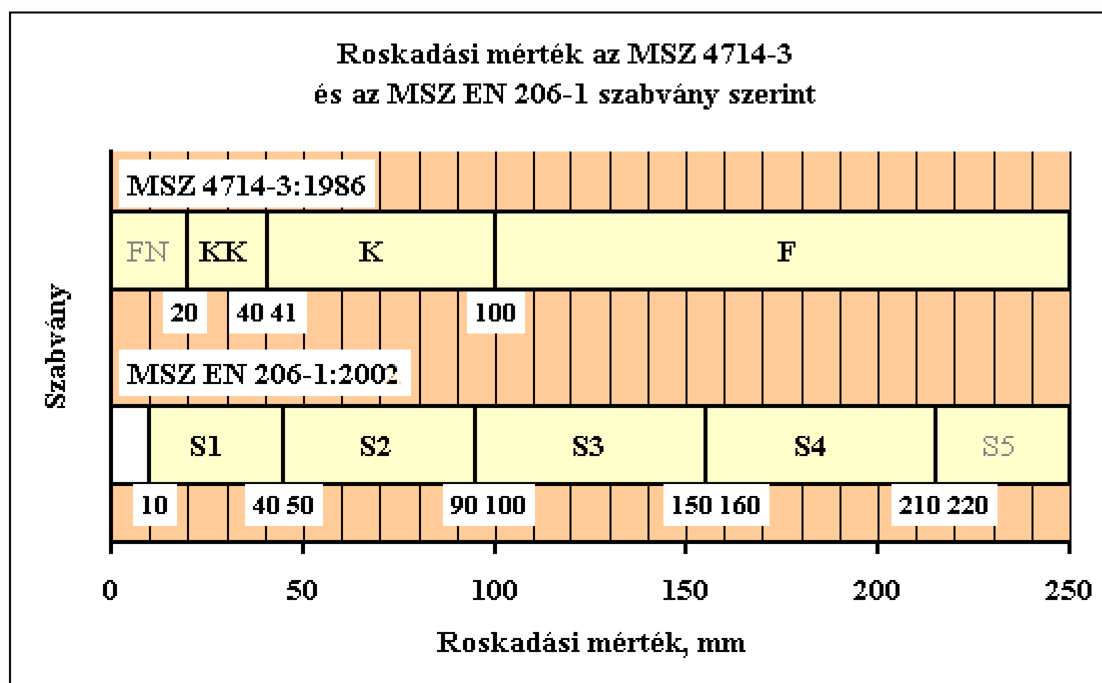
21. táblázat: Tömörítési osztályok az MSZ 4798-1:2004 szerint

Osztály	Tömörítési mérték (A tömöríthetőség mértéke)
C0 [1]	≥ 1,46
C1	1,45 – 1,26
C2	1,25 – 1,11
C3	1,10 – 1,04
C4 [1] [2]	≤ 1,03
A tömörítési mértéket az MSZ EN 12350-4:2009 szerint kell meghatározni. [1] A módszer e tartományban kevéssé érzékeny. [2] Csak könnyűbeton esetén szabad alkalmazni.	

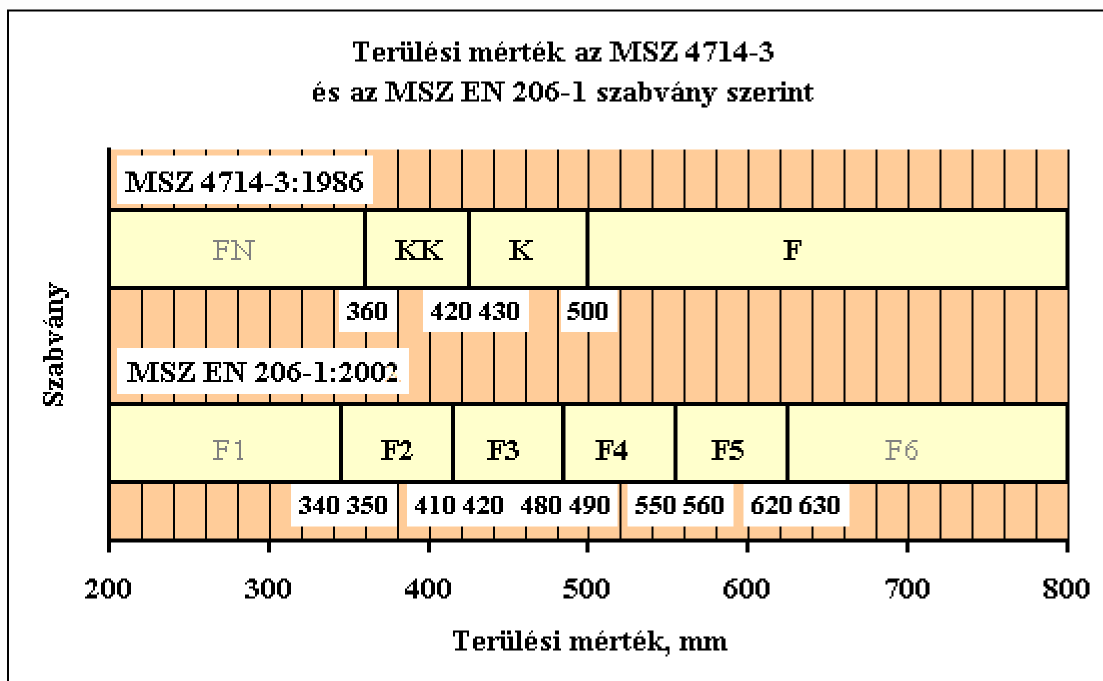
A konzisztenciát a friss beton megrendelésekor tervezett értékkel is megadhatjuk, ilyenkor azonban elő kell írni a tűrést is, például: S = 30 ± 10 mm. Általában célszerűbb azonban a konzisztencia mérési módszernek megfelelő konzisztencia osztály jelét (például S1) és a hozzá tartozó tartományt, például S1 (10 - 40 mm) megadni.

A beton jelében nem javasoljuk sem a régi, visszavont MSZ 4714-3:1986 szabvány szerinti konzisztencia osztályokra utaló FN, KK, K, F betűjel, sem a konzisztencia megnevezésének szöveges megjelenítését (például „földnedves”).

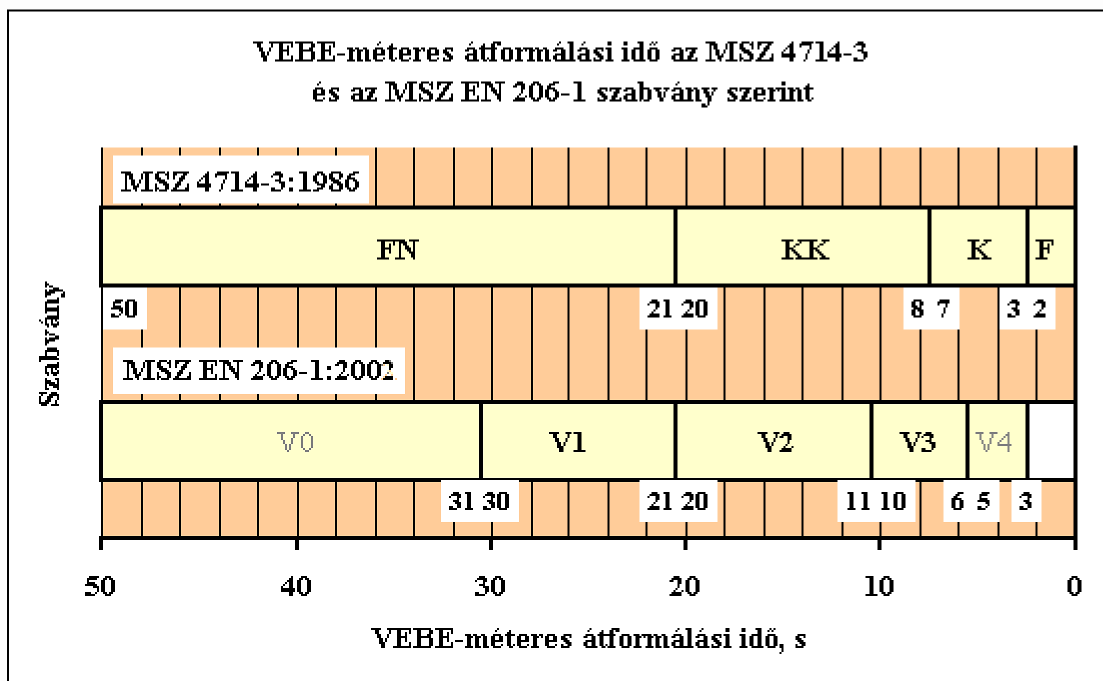
A *9. – 12. ábrákon* a régi, visszavont MSZ 4714-3:1986 és az új MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti konzisztencia osztályokat vetettük össze.



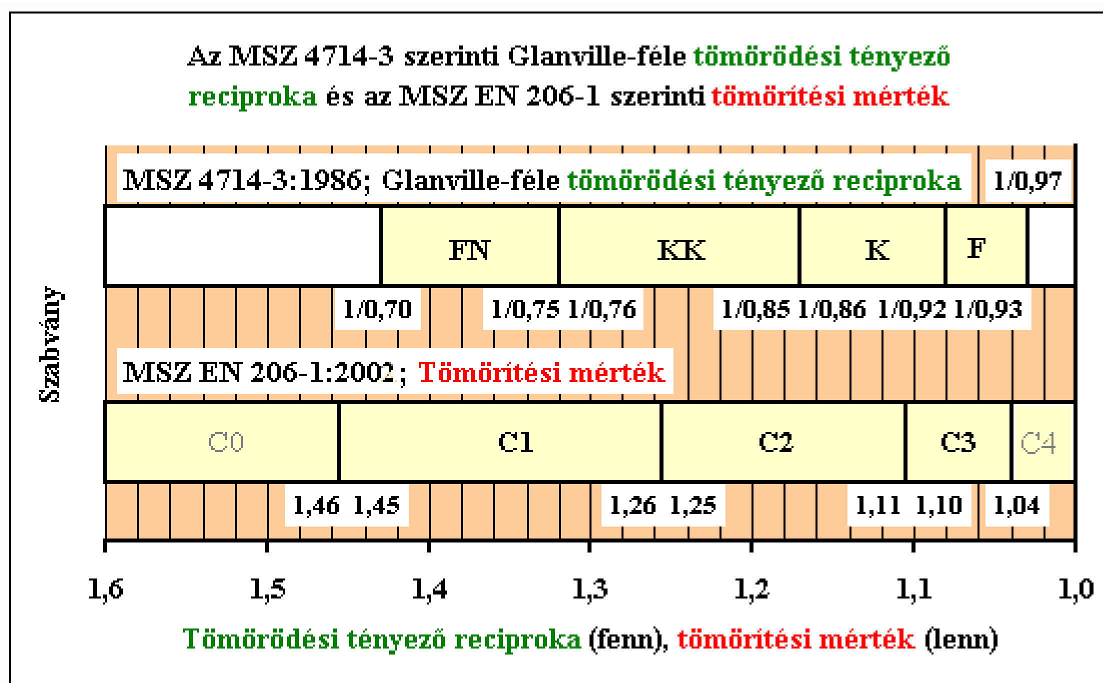
9. ábra: A régi és az új roskadási osztályok összevetése



10. ábra: A régi és az új terülési osztályok összevetése



11. ábra: A régi és az új VEBE osztályok összevetése



12. ábra: A régi tömörödési (*Glanville*-féle) és az új tömörítési (*Walz*-féle) osztályok összevetése

9.2. Öntömörödő-önterülő beton konzisztencia osztályai

Az öntömörödő beton konzisztenciáját a prEN 206:2012 európai szabványtervezet szerint a *22. táblázat* szerinti konzisztencia osztály jelével, vagy a konzisztencia tervezett értékével vagy határértékével lehet megadni.

Megjegyzések a *22. táblázathoz*: A terülési idő és a tölcséres kifolyási idő osztályai hasonlóak, de – ha a nemzeti melléklet másképp nem rendelkezik – a terülési idő tervezett értékének tűrése ±1 s, a tölcséres kifolyási idő tervezett értékének tűrése a VF1 osztályban ±3 s, a VF2 osztályban ±5 s. Ugyanezt lehet mondani az L-szekrényes átfolyási képesség és a fékező gyűrűs átfolyási képesség osztályainak hasonlóságáról – azonban ezek mértékegysége eltérő –, és ezeknek a tűrését a prEN 206:2012 szabvány nem tartalmazza.

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 5.4.1. szakasza az öntömörödő beton esetén nem érvényes.

Ha az öntömörödő beton folyási képességét kell meghatározni, akkor az MSZ EN 12350-8:2010 szerinti roskadási terülést kell megmérni.

Ha az öntömörödő beton viszkozitását kell meghatározni, akkor vagy a t_{500} terülési időt (MSZ EN 12350-8:2010) vagy a tölcséres kifolyási időt (MSZ EN 12350-9:2010) kell megmérni.

Ha az öntömörödő beton átfolyási képességét kell meghatározni, akkor vagy az L-szekrényes vizsgálatot (MSZ EN 12350-10:2010) vagy a fékező gyűrűs vizsgálatot (MSZ EN 12350-12:2010) kell elvégezni.

Ha az öntömörödő beton szétosztályozódással szembeni ellenállását kell meghatározni, akkor az ülepedési (szétosztályozódási) hajlam vizsgálata végzendő el az MSZ EN 12350-11:2010 szabvány szerint.

A felsorolt folyási képesség, a viszkozitás, a fékező gyűrűs átfolyási képesség és a szétosztályozódási ellenállás vizsgálata az építés helyen alternatív módszerként alkalmazható, ha ezek összefüggése ismert (MSZ EN 206-1 szabvány 9.4. szakasza).

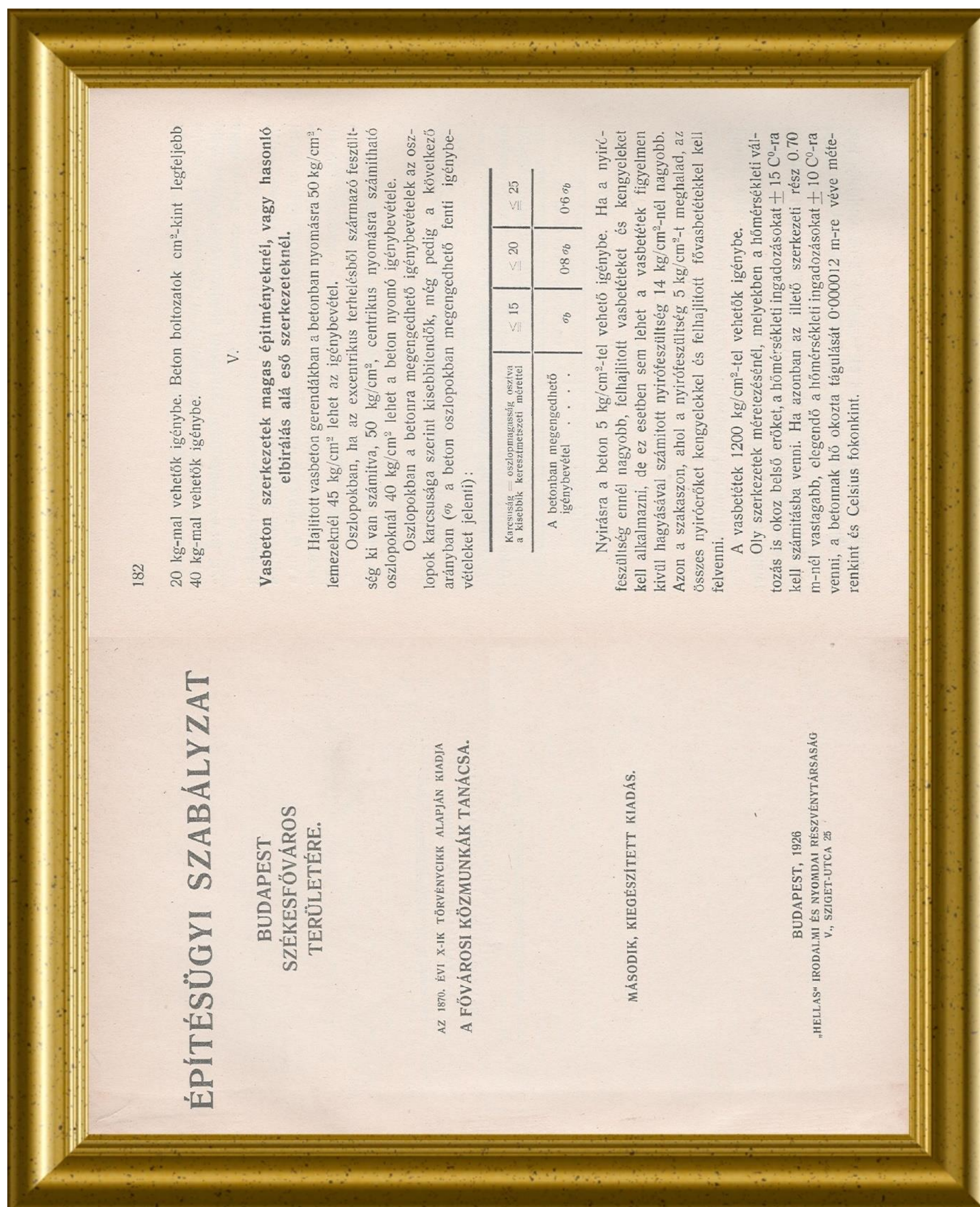
Az öntömörödő beton konzisztenciáját a beton felhasználásának vagy transzport beton esetén a beton átadásának időpontjában kell meghatározni.

Ha az öntömörödő betont mixer gépkocsiban vagy agitátor keverőben adják át, akkor a konzisztenciát az első ürítésből vett helyszíni mintán lehet meghatározni.

22. táblázat: A prEN 206:2012 európai szabványtervezet öntömörödő betonokra vonatkozó konzisztencia osztályai

Roskadási terülés		
Osztály jele	Roskadási terülési mérték határértéke [mm]	Vizsgálati szabvány
SF1	500-650	MSZ EN 12350-8:2010
SF2	660-750	
SF3	760-850	
a) Az osztályt a határértékek helyett jellemezni lehet a roskadási terülés tervezett értékével b) Az adalékanyag megengedett legnagyobb szemnagysága: $D_{max} \leq 40$ mm		
Terülési idő (az 500 mm-es terülési átmérő eléréséhez szükséges idő roskadási terülés mérés során)		
Osztály jele	t_{500} terülési idő mértékének határértéke [s]	Vizsgálati szabvány
VS1	< 2,0	MSZ EN 12350-8:2010
VS2	≥ 2,0	
a) Az osztályt a határértékek helyett jellemezni lehet a terülési idő tervezett értékével b) Az adalékanyag megengedett legnagyobb szemnagysága: $D_{max} \leq 40$ mm		
Tölcséres kifolyási idő		
Osztály jele	t_v tölcséres kifolyási idő mértékének határértéke [s]	Vizsgálati szabvány
VF1	< 9,0	MSZ EN 12350-9:2010
VF2	9,0 – 25,0	
a) Az osztályt a határértékek helyett jellemezni lehet a kifolyásisi idő tervezett értékével b) Az adalékanyag megengedett legnagyobb szemnagysága: $D_{max} \leq 22,4$ mm (Magyarországon 24 mm)		
L-szekrényes átfolyási képesség		
Osztály jele	L-szekrényes átfolyási képesség arányszámának határértéke [-]	Vizsgálati szabvány
PL1	≥ 0,8 két fékező acélrúd alkalmazásával	MSZ EN 12350-10:2010
PL2	≥ 0,8 három fékező acélrúd alkalmazásával	
Az osztályt a határértékek helyett jellemezni lehet az L-szekrényes átfolyási képesség arányszámának legkisebb értékével		
Fékező gyűrűs átfolyási képesség		
Osztály jele	Betonlepény belső és külső magassága különbségének határértéke [mm]	Vizsgálati szabvány
PJ1	≤ 10 tizenkét fékező acélrúd alkalmazásával	MSZ EN 12350-12:2010
PJ2	≤ 10 tizenhat fékező acélrúd alkalmazásával	
a) Az osztályt a határértékek helyett jellemezni lehet a betonlepény belső és külső magassága különbségének legnagyobb tervezett értékével b) Az adalékanyag megengedett legnagyobb szemnagysága: $D_{max} \leq 40$ mm		
Ülepedési (szétosztályozódási) hajlam vizsgálata szitán		
Osztály jele	Szitán átfolyt anyag mennyiségének határértéke [tömeg%]	Vizsgálati szabvány
SR1	≤ 20	MSZ EN 12350-11:2010
SR2	≤ 15	
a) Az osztályt a határértékek helyett jellemezni lehet a szitán fennmaradt anyag tömeg%-ban kifejezett mennyiségének legnagyobb értékével		

b) A szétosztályozódási osztály szálerősítésű vagy könnyű adalékanyagos beton esetén nem érvényes



ÉPÍTÉSÜGYI SZABÁLYZAT

BUDAPEST
SZÉKESFŐVÁROS
TERÜLETÉRE.

AZ 1870. ÉVI X-IK TÖRVÉNYCIKK ALAPJÁN KIADJA
A FŐVÁROSI KÖZMUNKÁK TANÁCSA.

MÁSODIK, KIEGÉSZÍTETT KIADÁS.

BUDAPEST, 1926
„HELLAS" IRODALMI ÉS NYOMDAI RÉSZVÉNYTÁRSASÁG
V., SZIGET-UTCA 25

182

20 kg-mal vehetők igénybe. Beton boltozatok cm²-kint legfeljebb 40 kg-mal vehetők igénybe.

V.

Vasbeton szerkezetek magas építményeknél, vagy hasonló elbirálás alá eső szerkezeteknél.

Hajlitott vasbeton gerendákban a betonban nyomásra 50 kg/cm², lemezeknél 45 kg/cm² lehet az igénybevétel.

Oszlopokban, ha az excentrikus terhelésből származó feszültség ki van számitva, 50 kg/cm², centrikus nyomásra számitható oszlopoknál 40 kg/cm² lehet a beton nyomó igénybevétele.

Oszlopokban a betonra megengedhető igénybevételek az oszlopok karcsusága szerint kisebbitendők, még pedig a következő arányban (σ_b a beton oszlopokban megengedhető fenti igénybevételeket jelenti):

Karcsuság = oszlopmagasság osztva a kisebbik keresztmetszeti mérettel	≤ 15	≤ 20	≤ 25
A betonban megengedhető igénybevétel	σ_b	$0{\cdot}8\,\sigma_b$	$0{\cdot}6\,\sigma_b$

Nyirásra a beton 5 kg/cm²-tel vehető igénybe. Ha a nyirófeszültség ennél nagyobb, felhajlitott vasbetéteket és kengyeleket kell alkalmazni, de ez esetben sem lehet a vasbetétek figyelmen kivül hagyásával számitott nyirófeszültség 14 kg/cm²-nél nagyobb. Azon a szakaszon, ahol a nyirófeszültség 5 kg/cm²-t meghalad, az összes nyirócrőket kengyelekkel és felhajlitott fővasbetétekkel kell felvenni.

A vasbetétek 1200 kg/cm²-tel vehetők igénybe.

Oly szerkezetek méretezésénél, melyekben a hőmérsékleti változás is okoz belső erőket, a hőmérsékleti ingadozásokat ± 15 C⁰-ra kell számitásba venni. Ha azonban az illető szerkezeti rész 0.70 m-nél vastagabb, elegendő a hőmérsékleti ingadozásokat ± 10 C⁰-ra venni, a betonnak hő okozta tágulását 0·000012 m-re véve méterenkint és Celsius fokonkint.

10. TESTSŰRŰSÉG

10.1. FRISS BETON TESTSŰRŰSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A bedolgozott friss beton tényleges (tapasztalati) testsűrűségét az MSZ EN 12350-6:2009 szabvány szerint kell megmérni.

A bedolgozott friss beton testsűrűségének döntő jelentősége van. A tervezetthez képest minden 1,0 % testsűrűség hiány 10 liter/m^3 többletlevegőt, azaz a tervezetthez képest +1,0 térfogat% levegőzárványt jelent. Minden +1,0 térfogat% levegő-tartalom 4-5 % nyomószilárdság csökkenést okoz, ezért az egymásnak kölcsönösen megfelelő betonösszetétel, konzisztencia és tömörítési módszer a betonkészítés alapvető követelménye, feltétele (MSZ 4798-1:2004).

A bennmaradt levegő-tartalom (levegőzárványok) miatt a bedolgozott friss beton próbatestek *egyedi mért* (tapasztalati) testsűrűségének a tervezett testsűrűségnél legfeljebb 30 kg/m^3-rel szabad kisebbnek lennie, azonban *átlagos mért* (tapasztalati) testsűrűségüknek (ha egy próbatest egy mintát alkot), illetve a több próbatest alkotta minták átlagos testsűrűségeinek átlagából számított testsűrűségnek nem szabad kisebbnek lennie, mint a friss beton helyesen tervezett testsűrűsége, mert csak ebben az esetben teljesül a friss beton megengedett levegő-tartalmára és megkövetelt cementtartalmára vonatkozó, a környezeti osztálynak (*17. táblázat*) megfelelő követelmény.

E feltételnek meg nem felelő friss beton próbatesteket nem szabad a vizsgálati próbatestek közé besorolni, és nem szabad a szilárd beton nyomószilárdsági követelményeinek az igazolásához felhasználni. Ha az adott keverék esetén az alkalmazott tömörítéssel a fenti feltétel nem teljesíthető, akkor valószínű, hogy a szerkezetbe bedolgozott friss beton sem lesz kellő tömörségű, és ezért a betonösszetételt át kell tervezni vagy a tömörítés módját (például a vibrátorok rezgésszámát, teljesítményét stb.) felül kell vizsgálni. Ezt az ellentmondást azonban már a gondosan végzett gyári próbakeverés (kezdeti gyártás) során észre kell venni.

A bedolgozott friss beton próbatestek egyedi testsűrűség mérési eredményeit – a betonösszetétellel együtt – mindig fel kell jegyezni a próbatesteket kísérő mintavételi és vizsgálati jegyzőkönyvbe, hogy abból a fenti feltétel teljesülése későbbi időpontban – például a nyomószilárdság vizsgálat során – is ellenőrizhető legyen. Megjegyzendő, hogy a próbatestek készítésekor a testsűrűségen kívül a konzisztencia mérő számot (például F = 430 mm) és a levegő hőmérsékletét is mérni és jegyzőkönyvezni kell.

A bedolgozott friss beton *tervezett testsűrűsége* a tervezett levegő-tartalom, a beton tervezett összetétele és a beton főbb alkotó anyagainak testsűrűsége alapján a következőképpen számítható ki:

$$\rho_{friss\,beton\ tervezett} = M_C + x \cdot M_C + \rho_A \cdot \left(1 - \frac{M_C}{\rho_C} - \frac{x \cdot M_C}{1000} - \frac{V_L^{\%}}{100}\right) \quad [kg/m^3]$$

ahol:

M_C	a beton tervezett cementtartalma, kg/m^3
x	a beton tervezett víz-cement tényezője
$M_V = x \cdot M_C$	a keverővíz tömege 1 m^3 bedolgozott friss betonban, kg/m^3
$V_L^{\%}$	a friss beton tervezett levegő-tartalma, térfogat% (általában $\leq$ 2 térfogat%, kivéve, ha légbuborékos fagyálló vagy fagy- és olvasztósóálló betonról van szó)
ρ_C	a cement anyagsűrűsége, kg/m^3
ρ_A	az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3:

$$\rho_A = \frac{1}{\left(\frac{\alpha}{\rho_\alpha} + \frac{\beta}{\rho_\beta} + \frac{\gamma}{\rho_\gamma} + \ldots\right)} \qquad [kg/m^3]$$

ahol:

$\alpha, \beta, \gamma \ldots$ az adalékanyag keveréket alkotó frakciók tömegaránya, 0 és 1 közé eső nevezetlen szám, és $\alpha + \beta + \gamma + \ldots = 1{,}0$

$\rho_\alpha, \rho_\beta, \rho_\gamma \ldots$ az adalékanyag keveréket alkotó frakciók szemeinek átlagos testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3

A ρ_A súlyozott testsűrűséget kell használni az adalékanyag keverékre akkor is, ha annak természetes adalékanyag frakciói különböző fajtájú kőzetek (például homok, kavics, mészkő, andezit vagy bazalt zúzottkő stb.).

A bedolgozott friss beton tényleges testsűrűségének megmérése után ellenőrizni kell, hogy a beton rendelkezik-e a fentiek szerint tervezett testsűrűséggel, és ha nem, akkor ebben az esetben is a bedolgozás módján – feltételezve a friss beton próbatestek és a szerkezetbe bedolgozott beton közelítőleg azonos tömörségét – vagy a beton összetételén változtatni kell.

Például az M_C = 300 kg/m^3 tervezett cementtartalmú, x = 0,5 víz-cement tényezőjű, $V_L^{\%}$ = 2 térfogat% tervezett levegő-tartalmú bedolgozott friss beton tervezett testsűrűsége, ha a cement anyagsűrűsége ρ_C = 3100 kg/m^3, és az adalékanyag keverék testsűrűsége ρ_A = 2640 kg/m^3:

$$\rho_{friss\,beton} = 300 + 0{,}5 \cdot 300 + 2640 \cdot \left(1 - \frac{300}{3100} - \frac{0{,}5 \cdot 300}{1000} - \frac{2}{100}\right) =$$

$$= 300 + 150 + 2640 \cdot 0{,}7332 = 300 + 150 + 1936 = 2386 \quad [kg/m^3]$$

ahol az 1 m^3 bedolgozott friss betonban lévő cement tömege M_C = 300 kg, a víz tömege M_V = 150 kg, az adalékanyag tömege M_A = 1936 kg, összesen $M_C + M_V + M_A$ = 2386 kg; továbbá a cement térfogata V_C = 300/3,1 = 96,77 liter, a víz térfogata V_V = 150 liter, az adalékanyag szemek térfogata V_A = 1936/2,64 = 733,23 liter, a levegő térfogata V_L = 20 liter, összesen $V_C + V_V + V_A + V_L$ = 1000 liter.

10.2. SZILÁRD BETON TESTSŰRŰSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A (60 ± 5) ºC hőmérsékleten tömegállandóságig kiszárított szilárd beton testsűrűségét az MSZ EN 12390-7:2009 szerint kell meghatározni.

Ha a testsűrűség mérést szabványosan (kizsaluzás után végig víz alatt) tárolt nyomószilárdság vizsgálati próbatest felhasználásával végzik, akkor

– egyrészt közvetlenül a nyomószilárdság vizsgálat előtt, a vizes próbatesten el kell végezni a méretfelvételt és a tömegmérést, és ezek eredményéből ki kell számítani a vizes beton testsűrűségét (ρ_{vizes});
– másrészt közvetlenül a nyomószilárdság vizsgálat után az eltört próbatest – tálcára vagy edénybe helyezett – lehetőleg teljes vizes anyagmennyiségének gyorsan meg kell mérni a tömegét, majd ezt az anyagmennyiséget tömegállandóságig (60 ± 5) ºC hőmérsékleten ki kell szárítani, kiszárított állapotban is meg kell mérni a tömegét, és ki kell számítani a beton törési (szilárdság vizsgálati) víztartalmát (n). Ezeknek az adatoknak a felhasználásával kell a kiszárított állapotú beton testsűrűségére következtetni:

$$\rho_{kiszárított} = \frac{\rho_{vizes}}{1+n} = \frac{\rho_{vizes}}{1+\frac{n^{\%}}{100}}$$

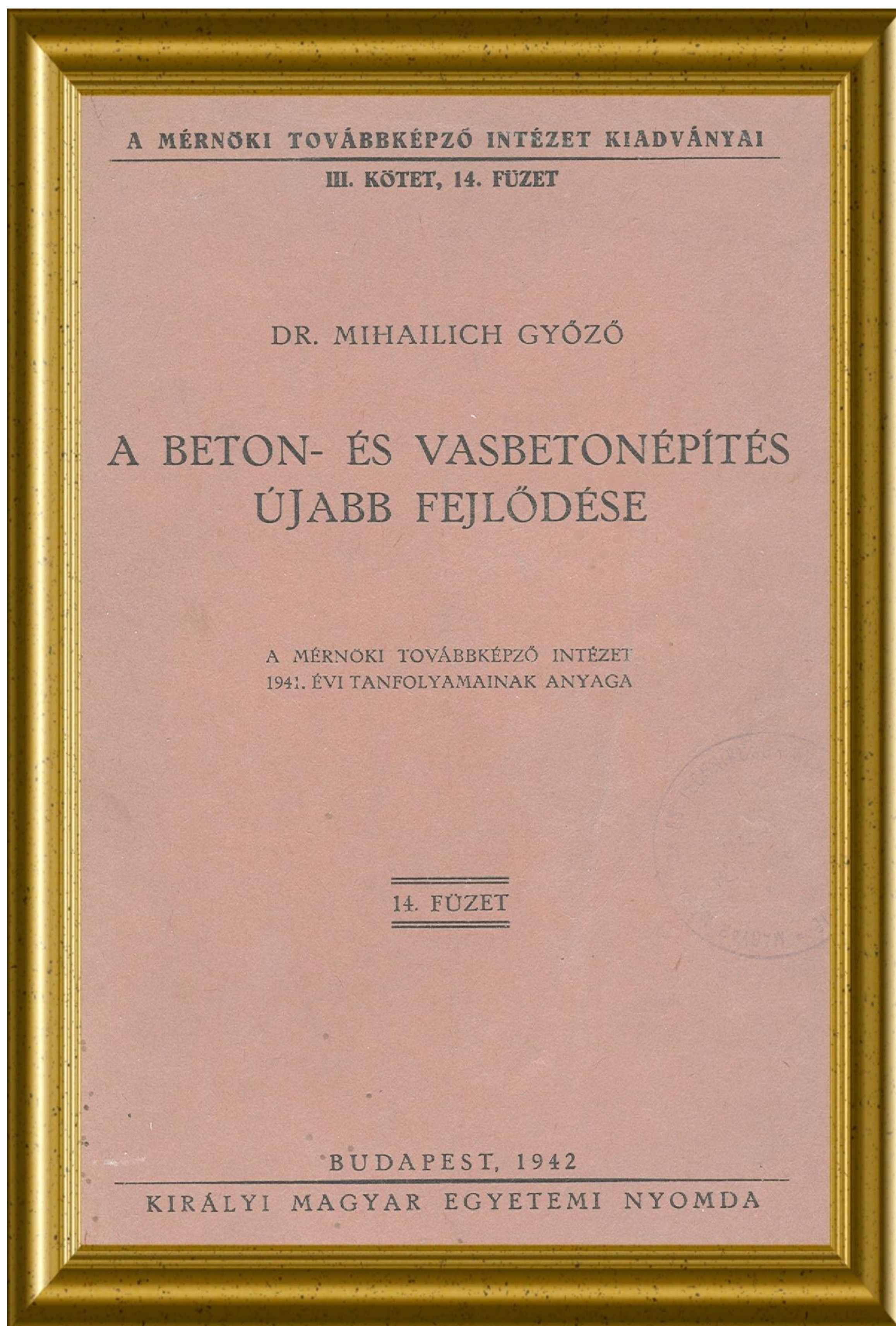
ahol:

$\rho_{kiszárított}$	a beton testsűrűsége (60 ± 5) ºC hőmérsékleten kiszárított állapotban, kg/m³
ρ_{vizes}	a kizsaluzás után vízben tárolt próbatesten meghatározott testsűrűség, kg/m³
n	a betondarabon meghatározott, tömegarányban kifejezett víztartalom, 1-nél kisebb nevezetlen szám; a betondarabban lévő, (60 ± 5) °C hőmérsékleten elgőzölhető víz tömegének, és az ugyanezen a hőmérsékleten kiszárított betondarab tömegének a hányadosa
$n^{\%}$	a víztartalom tömegszázalékban

Másik lehetőség a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt nyomószilárdság vizsgálati beton próbatestek alkalmazása esetén, hogy a kiszárított állapotú beton testsűrűségét *külön e célra készített* és kizsaluzás után 28 napos korig víz alatt tárolt, majd (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított – tehát nyomószilárdság vizsgálatra nem kerülő – próbatesteken határozzuk meg.

A vegyesen tárolt, szilárd közönséges beton és nehézbeton próbatest tömegét szilárdságvizsgálat előtt, a légszáraz próbatesten kell megmérni, és ebből kell a testsűrűséget kiszámítani. A vegyesen tárolt, szilárd könnyűbeton próbatestek testsűrűségét (60 ± 5) °C tömegállandóságig szárított, legalább 300 g tömegű próbadarabon kell meghatározni.

A megszilárdult, nyomószilárdság vizsgálati beton próbatestek (egy-egy próbatestből álló minták), illetve a több próbatest alkotta minták fenti módon meghatározott, kiszárított vagy légszáraz állapotban értelmezett testsűrűségének terjedelme ne legyen nagyobb átlaguk 3 %-ánál. E feltételeknek meg nem felelő beton próbatesteket a nyomószilárdság vizsgálati eredmények értékelésébe nem szabad bevonni.


A MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET KIADVÁNYAI
III. KÖTET, 14. FÜZET

DR. MIHAILICH GYŐZŐ

A BETON- ÉS VASBETONÉPÍTÉS ÚJABB FEJLŐDÉSE

A MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET 1941. ÉVI TANFOLYAMAINAK ANYAGA

14. FÜZET

BUDAPEST, 1942
KIRÁLYI MAGYAR EGYETEMI NYOMDA

11. LEVEGŐ-TARTALOM

11.1. FRISS BETON BENNMARADT LEVEGŐ-TARTALMA

Az építési célnak – beleértve a tartósságot is – csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű, zárványmentes beton felelhet meg, ezért a bedolgozott friss beton levegő-tartalmát korlátozni kell. Magyarországon a közönséges friss beton bennmaradt levegő-tartalmának (a levegőzárványoknak) megengedett értéke a környezeti osztályok függvényében a *17. táblázatban* található. Ugyanitt szerepel a légbuborékképző adalékszerrel készített fagyálló, illetve fagy- és olvasztósó-álló beton (XF2, XF3, XF4 környezeti osztály) esetén a megkövetelt képzett (bevitt), gömbszerű buborékokból álló levegő-tartalom, azaz az előírt légbuborék-tartalom (németül: „Kugelporen”), amely a bennmaradt levegő-tartalmon felül értendő.

A beton tényleges levegő-tartalmának nem szabad a tervezett levegő-tartalomnál nagyobbnak, fagyálló, vagy fagy- és olvasztósó-álló beton esetén kisebbnek lennie, illetve ezt a követelményt az előírt megengedett tűréssel kell teljesítenie. Ha az adott keverék esetén az alkalmazott tömörítéssel ez feltétel nem teljesíthető, akkor vagy a tömörítés módját kell megváltoztatni, vagy a betonösszetételt kell áttervezni.

A bedolgozott friss beton levegő-tartalmát *számítással* vagy *méréssel* határozhatjuk meg.

A bedolgozott *friss beton levegő-tartalmát* a bedolgozott friss beton tényleges (mért) és tervezett testsűrűségének hányadosából, valamint az összetevők tervezett tömegéből – feltételezve, hogy a bemérttel azonos – és sűrűségéből, illetve testsűrűségéből lehet *számítani*.

Az 1 m^3 térfogatú bedolgozott friss beton $V_{L,test}$ tényleges (tapasztalati) levegő-tartalma a friss beton tényleges és tervezett testsűrűsége, a beton tervezett cementtartalma, tervezett víz-cement tényezője, tervezett adalékanyag-tartalma, valamint a cement anyagsűrűsége és az adalékanyag testsűrűsége alapján – feltételezve, hogy a beton keverési aránya a tervezettnek megfelel – a következőképpen számítható ki:

$$V_{L,test} = 1000 - \frac{\rho_{friss\ beton\ tapasztalati}}{\rho_{friss\ beton\ tervezett}} \cdot (1000 - V_L) =$$

$$= 1000 - \frac{\rho_{friss\ beton,\ test}}{\rho_{friss\ beton}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot M_c}{\rho_c} + x \cdot M_c + \frac{1000 \cdot M_a}{\rho_a} \right) \qquad [liter / m^3]$$

ahol:

$V_{L,test}$	a bedolgozott friss beton tényleges levegő-tartalma, liter/m^3
$\rho_{friss\ beton,\ test}$	a bedolgozott friss beton tényleges testsűrűsége, kg/m^3
$\rho_{friss\ beton}$	a bedolgozott friss beton tervezett testsűrűsége, kg/m^3
M_c	a beton tervezett cementtartalma, kg/m^3
x	a beton tervezett víz-cement tényezője
$M_v = x \cdot M_c$	a keverővíz tervezett tömege, kg/m^3
M_a	a beton tervezett adalékanyag-tartalma, kg/m^3
ρ_c	a cement anyagsűrűsége, kg/m^3
ρ_a	az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3:

$$\rho_a = \frac{1}{\left(\frac{\alpha}{\rho_\alpha} + \frac{\beta}{\rho_\beta} + \frac{\gamma}{\rho_\gamma} + ... \right)} \qquad [kg / m^3]$$

ahol:

$\alpha, \beta, \gamma \ldots$ az adalékanyag keveréket alkotó frakciók tömegaránya, 0,0 és 1,0 közé eső nevezetlen szám, és $\alpha + \beta + \gamma + \ldots = 1{,}0$

$\rho_\alpha, \rho_\beta, \rho_\gamma \ldots$ az adalékanyag keveréket alkotó frakciók szemeinek átlagos testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3

V_L a bedolgozott friss beton tervezett levegő-tartalma, liter/m^3:

$$V_L = 1000 - \left(\frac{1000 \cdot M_c}{\rho_c} + x \cdot M_c + \frac{1000 \cdot M_a}{\rho_a} \right) \quad [liter/m^3]$$

A ρ_a súlyozott testsűrűséget kell használni az adalékanyag keverékre akkor is, ha annak természetes adalékanyag frakciói különböző fajtájú kőzetek (például homok, kavics, mészkő, andezit vagy bazalt zúzottkő stb.).

A bedolgozott friss beton tényleges levegő-tartalmát *méréssel* az MSZ EN 12350-7:2009 szabvány szerinti ún. nyomásmódszerek valamelyikével lehet meghatározni. A módszer alkalmazásához kétféle készülék áll rendelkezésre. Az „A” típusú készülék víznyomással működik, és a nyomáscsökkenést méri, a „B” típusú készülék levegőnyomással működik, és a térfogatcsökkenést méri. Tapasztalat szerint a szabványos levegő-tartalom mérő készülék 8 literes, henger alakú edényében (a 150 mm élhosszúságú próbakocka erre kevésbé alkalmas) pontosan mért testsűrűségből a keverési arány (beton összetétel) ismeretében számított levegő-tartalom (3. példa) igen jól egyezik az időigényesebb nyomásmódszeres mérés eredményével.

A levegő-tartalom mérés és számítás módját, az ellenőrzések helyét (független laboratórium, keverő telep, bedolgozási helyszín) célszerű a megvalósítási szerződésben kikötni.

1. példa: Az XF3 környezeti osztályú, M_c = 320 kg/m^3 tervezett cementtartalmú, x = 0,5 tervezett víz-cement tényezőjű, M_a = 1810 kg/m^3 tervezett adalékanyag-tartalmú, 5,1 térfogat% tervezett összes levegő-tartalmú, bedolgozott állapotban $\rho_{\text{friss beton}}$ = 2290 kg/m^3 tervezett és $\rho_{\text{friss beton,test}}$ = 2278 kg/m^3 tényleges testsűrűségű, légbuborékos friss beton tényleges levegő-tartalma ($V_{L,test}$, illetve $V_{L,test}^{\%}$), ha a cement anyagsűrűsége ρ_c = 3100 kg/m^3, és az adalékanyag keverék testsűrűsége ρ_a = 2640 kg/m^3:

$$V_{L,\,test} = 1000 - \frac{2278}{2290} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 320}{3100} + 0{,}5 \cdot 320 + \frac{1000 \cdot 1810}{2640} \right) =$$

$$= 1000 - 0{,}995 \cdot (103{,}23 + 160 + 685{,}61) = 56{,}1 \quad [\text{liter}/\text{m}^3]$$

$$V_{L,\,test}^{\%} = 100 \cdot \frac{V_{L,\,test}}{1000} = 5{,}61 \quad [\text{térfogat } \%]$$

ahol:

a cement által elfoglalt tervezett térfogat: V_c = 320/3,1 = 103,23 liter,
a víz által elfoglalt tervezett térfogat: V_v = 160 liter,
az adalékanyag által elfoglalt tervezett térfogat: V_a = 1810/2,64 = 685,61 liter,
a betonösszetevők által elfoglalt tervezett térfogat: $V_c + V_v + V_a$ = 948,84 liter,
a tervezett levegő-tartalom: V_L= 51 liter, azaz 5,1 térfogat%,
a betonösszetevők által ténylegesen elfoglalt térfogat: $0{,}995 \cdot (V_c + V_v + V_a)$ = 943,87 liter,
a tényleges levegő-tartalom: $V_{L,test}$ = 1000 – 943,9 = 56,1 liter, azaz $V_{\ell,test}^{\%}$ = 5,6 térfogat%,
az összes térfogat: $V_c + V_v + V_a + V_L = (\rho_{\text{friss beton,test}} / \rho_{\text{friss beton}}) \cdot (V_c + V_v + V_a) + V_{L,test}$ = 1000 liter,
a tényleges cementtartalom: $(\rho_{\text{friss beton,test}} / \rho_{\text{friss beton}}) \cdot V_c = 0{,}995 \cdot 320 = 318{,}4$ kg/m^3.

2. példa: Ha a bedolgozott friss beton mért testsűrűsége $\rho_{\text{friss beton,test}}$ = 2435 kg/m^3 és a bedolgozott friss beton tervezett testsűrűsége $\rho_{\text{friss beton}}$ = 2420 kg/m^3, tervezett levegő-tartalma pedig V_L = 20 liter/m^3 ($V_L^{\%}$ = 2,0 térfogat%), akkor a bedolgozott friss beton *számított*, tényleges (tapasztalati) levegő-tartalma $V_{L,test}$ = 13,9 liter/m^3 ($V_{L,test}^{\%}$ ~ 1,4 térfogat%). Ha nincs tervezett levegő-tartalom, akkor a *3. példa* szerint járunk el.

3. példa: A friss beton mért testsűrűsége $\rho_{\text{friss beton,test}}$ = 2400 kg/m^3 és a keverési tömegaránya v:c:a = 0,5:1:6,5. Kérdés, hogy mekkora a bedolgozott friss beton levegő-tartalma, ha a cement anyagsűrűsége ρ_c = 3,1 kg/liter, a vízé ρ_v = 1,0 kg/liter, az adalékanyag testsűrűsége ρ_a = 2,64 kg/liter, a beton cementtartalma pedig c = 2400/(0,5 + 1,0 + 6,5) = 300 kg/m^3. A bedolgozott friss beton tényleges levegő-tartalma ($V_{L,test}$, illetve $V_{L,test}^{\%}$):

$$V_{L,test} = 1000 - \left[\frac{300}{3,1} + \frac{0,5 \cdot 300}{1,0} + \frac{6,5 \cdot 300}{2,64}\right] =$$

$$= 1000 - (96,8 + 150 + 738,6) = 14,6 \quad [\text{liter}/\text{m}^3]$$

$$V_{L,test}^{\%} = 100 \cdot \frac{V_{L,test}}{1000} = 1,46 \quad [\text{térfogat\%}]$$

azaz a beton kellően tömöríthető volt, de egy kis képlékenyítő adalékszerrel a levegő-tartalmat még csökkenteni lehetne.

4. példa: A 3. példa szerinti betonhoz a fagyállóság érdekében légbuborékképző adalékszert adtunk, ezért a friss beton testsűrűsége $\rho_{\text{friss beton,test}}$ = 2300 kg/m^3, cementtartalma pedig c = 2300/(0,5 + 1,0 + 6,5) = 287,5 kg/m^3 lett.

A bedolgozott légbuborékos friss beton tényleges levegő-tartalma ($V_{L,test}$, illetve $V_{L,test}^{\%}$):

$$V_{L,test} = 1000 - \left[\frac{287,5}{3,1} + \frac{0,5 \cdot 287,5}{1,0} + \frac{6,5 \cdot 287,5}{2,64}\right] =$$

$$= 1000 - (92,7 + 143,8 + 707,8) = 55,7 \quad [\text{liter}/\text{m}^3]$$

$$V_{L,test}^{\%} = 100 \cdot \frac{V_{L,test}}{1000} = 5,57 \quad [\text{térfogat\%}]$$

ami a szokásos körülmények esetén megfelel. Szigorúan véve ebből még levonható a bedolgozási zárvány, amely például a fenti 3. példában 1,46 térfogat% volt.

11.2. Légbuborék-tartalom, távolsági tényező

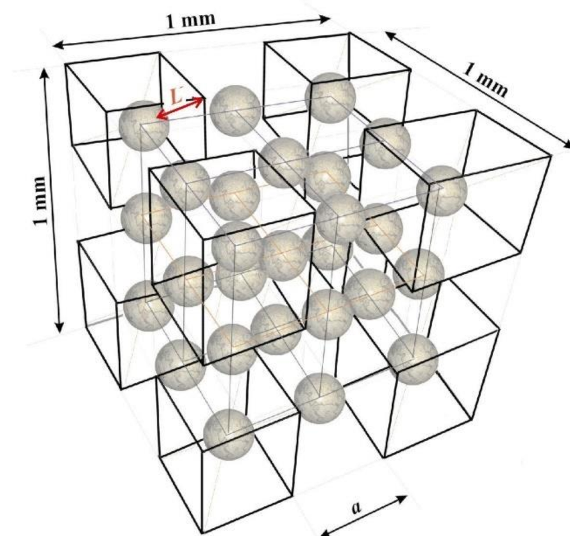
A légbuborék-tartalom adalékszerrel képzett, hatékony eloszlású levegő a beton fagy- és olvasztósó-állóságának fokozására, ezért képzett levegőnek is nevezik. Ez a fajta levegő a megszilárdult cementkőben helyezkedik el.

A beton tartósságának egyik feltétele a fagy- és olvasztósó-állóság. A megszilárdult beton pórusaiban lévő víz téli hidegek alkalmával – számos tényezőtől befolyásolva – nagy valószínűséggel megfagy. A közép- és északeurópai gyakori kemény teleknek a légbuborékképző adalékszer nélkül és a 0,50 vagy 0,45-nél kisebb víz-cement tényezővel készült autópálya- és repülőtéri pályabetonok stb. nem képesek tönkremenetel nélkül ellenállni.

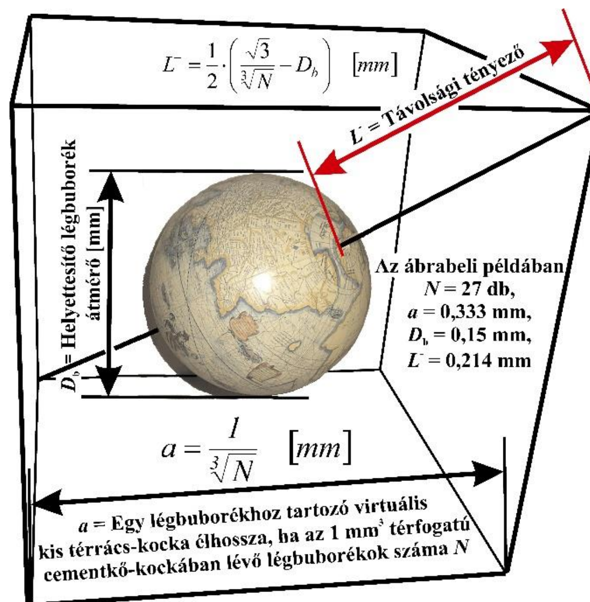
Az utak téli *jégolvasztó-sózása* – amelynek hatása hasonlít a fagyhatáshoz – a beton károsodását tovább növeli. A betonban a sóoldat-koncentráció nem egyenletes, a különböző sótelítettségű rétegek fagyáspontja különböző. A sódúsabb, később megfagyó közbenső réteg jég és kapilláris nyomása lerepeszti a fölötte lévő, már fagyott, sószegényebb réteget (réteges felfagyás). (*Balázs* 1997).

A fagykárosodást okozó víztartalom határértékét *kritikus víztelítettségnek* nevezik (*Fågerlund* 1973). Az egyébként kritikus víztelítettségű betonban a fagy- és olvasztósó-kár csak akkor kerülhető el, ha légbuborékképző adalékszerrel elegendő mennyiségű és kellően apró, vízzel ki nem töltődő pórust, ún. *légbuborékot* képezünk a betonban. A légbuborék kritikus víztelítettség mellett sem telik meg vízzel. A légbuborékképző adalékszerrel szándékosan bevitt levegő mennyiségét *bevitt* vagy *képzett* levegő-tartalomnak, *légbuborék-tartalomnak* nevezik (MSZ 4798-1:2004), és feltételezik, hogy a buborék átmérője általában kisebb, mint 0,75 mm. (Mennyiségének jele: A_{750} vagy német nyelvterületen: L750.) A közel gömb alakú légbuborékoknak – a fagy- és olvasztósó-állóság szempontjából – az a tartománya *hatékony*, amelynek átmérője mintegy 0,01 mm és 0,30 mm közé esik. Ezeknek a hatékony mikrolégbuboréknak a mennyiségét a betonban (jele: A_{300} vagy német nyelvterületen: L300, térfogat%-ban) és a *távolsági tényezővel* kifejezett eloszlását a cementkőben a megszilárdult betonból kimunkált felületen kell vizsgálni és meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. Az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos vizsgálat az ASTM C 457:1998 szabványon alapul.

A légbuborék szerkezet vizsgálata egy olyan idealizált cementkő-modellt feltételez, amelyben egyforma méretű, gömb alakú légbuborékok egyenletes eloszlásban, köbös térrácsban helyezkednek el, és az idealizált légbuborék szerkezetnek ugyanakkora az összes térfogata és a térfogati fajlagos felülete, mint a tényleges hatékony légbuborék szerkezetnek (*13. ábra*). Ebben a cementkő-modellben a *távolsági tényező* (jele: $\bar{L}$, mm-ben) a cementkőben a *térrács átlója* mentén egymás mellett fekvő két légbuborék felülete közötti névleges távolság fele (*14. ábra*). Ez a leghosszabb távolság, amelyet a nyomás hatására a vízmolekulának meg kell tennie ahhoz, hogy egy buborékfelszínhez érjen.



13. ábra: Idealizált cementkő-modell köbös térrácsban elhelyezkedő hatékony helyettesítő légbuborék szerkezettel (Az ábrabeli távolsági tényező még éppen elfogadható érték)



14. ábra: A hatékony helyettesítő légbuborék térfogateleme és a távolsági tényező a *13. ábra* szerinti példa alapján

A légbuborék-tartalmú friss transzportbeton levegő-tartalmát az építés helyszínén kell vizsgálni.

A légbuborékképző adalékszerrel készített fagyálló, illetve fagy- és olvasztósó-álló, XF2 – XF4 környezeti osztályú *friss beton* összes levegő-tartalmának előírt legkisebb értéke 4,0 térfogat%, megengedett legnagyobb értéke 6,0 térfogat% (MSZ 4798-1:2004). A felső korlátra azért van szükség, mert 1,0 térfogat% légpórus-tartalom növekedés 4-5 % beton nyomószilárdság csökkenést okoz. Megjegyezzük, hogy az apró légbuborékok (például, amelyek átmérője 0,01-0,30 mm) kevésbé rontják a nyomószilárdságot, mint a nagyobb méretűek, amelyek kevésbé állékonyak.

Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány felfogása szerint a légbuborékos friss beton előírt levegő-tartalma elegendő a fagyállósághoz, mert a megszilárdult beton légbuborék-tartalmára előírást nem tartalmaz. Feltételezhető, hogy alkalmassági engedéllyel rendelkező légbuborékképző adalékszerrel, a javasolt adagolással, adott cementfajta és szakszerű betontechnológia mellett elegendő számú, megfelelő méretű és távolsági tényezőjű légbuborék szerkezet jön létre.

Figyelemre méltó és követendő, hogy az osztrákok a légbuborékos friss beton összes levegőtartalmával szemben támasztott követelményeket ennél részletesebben adják meg. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3 és 5.5.5 szakaszában, valamint NAD 10 táblázatában a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmát a friss cementpépben és a friss betonban, illetve péptelített friss betont feltételezve az adalékanyag legnagyobb szemnagyságára vetítve írják elő.

Az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3 szakasza szerint a *friss betonban* az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegő-tartalomnak legalább 2,5 térfogat%-nak kell, és legfeljebb 5,0 térfogat%-nak szabad lennie, hacsak a kezdeti, illetve a megfelelőség vagy azonosító vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható. Megfelelőség vagy azonosító vizsgálattal a *friss betonban* legfeljebb 8,0 térfogat% összes levegő-tartalom igazolható. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10 táblázata szerint az összes levegő-tartalom határértéke a legnagyobb szemnagyság függvénye, és eszerint a szabvány 5.4.3 szakasza szerinti követelmény a 24 mm és a 32 mm legnagyobb szemnagyságú beton esetén érvényes.

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10 táblázata egyedül az XF4 környezeti osztályban a *szilárd betonban* 0,18 mm-nél kisebb távolsági tényezőt (AF) ír elő. Megköveteli, hogy a 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége (L300) a *szilárd betonban* az XF2 és XF3 környezeti osztály esetén 1,0 – 3,0 térfogat%, az XF4 környezeti osztály esetén 1,8 – 5,0 térfogat% közé essék. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szabvány 5.5.5 szakasza szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban a *szilárd betonban* a hatékony légbuborékok mennyisége (L300) akkor lehet 3,0 térfogat%-nál több, ha az 5,0 térfogat% feletti összes levegő-tartalom ártalmatlanságát igazolták. Az XF4 környezeti osztályban a hatékony légbuborékok mennyisége (L300) legfeljebb 5,0 térfogat% lehet. E szabvány NAD 10 táblázata arról is intézkedik, hogy ha valamely előírás nem a 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű, hatékony légbuborékok mennyiségét (L300), hanem az összes légbuborék mennyiségét szabályozza, akkor a légbuborékokat 0,75 mm névleges átmérőig kell számításba venni, amelyek mennyiségének jele: L750.

Ha az érdekelt felek a bedolgozott friss betonon mért vagy számított levegő-tartalom kimutatásával nem elégszenek meg, vagy megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat elhagyásában, vagy egyéb szempontok szólnak mellette, akkor a beton megfelelőségének igazolásához a *megszilárdult beton* próbatestből (vagy ritkán a kész szerkezetből vett magmintákból, ugyanis az értékeléshez ismerni kell a beton pontos összetételét is) kimunkált és megcsiszolt próbatesteken kell a *légbuborékok távolsági tényezőjét és mennyiségét* az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos vizsgálattal meghatározni. Ha a légbuborék-szerkezetet meghatározzák, akkor az XF2 és XF3 környezeti osztályban a fagy- és olvasztósó-

állóság vizsgálata elhagyható, az XF4 környezeti osztályban pedig ajánlott a légbuborék-szerkezetet fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata mellett is meghatározni.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a megszilárdult betonban a légbuborékok távolsági tényezője legfeljebb 0,22 mm legyen. Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 termékszabvány ennél szigorúbb, ugyanis azt a légbuborékképző adalékszert tekinti megfelelőnek, amely a szilárd betonba ≤ 0,20 mm távolsági tényezőt hoz létre. Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szabvány követelménye továbbá, hogy a légbuborékképzős friss beton összes levegő-tartalma legalább 2,5 térfogat%-kal legyen nagyobb, mint a légbuborékképző nélküli beton levegő-tartalma, és a friss beton összes levegő-tartalma 4-6 térfogat% között legyen. A 28 napos korú, légbuborékképző adalékszerrel készült beton nyomószilárdságának el kell érnie a légbuborékképző adalékszer nélkül készített ellenőrző beton nyomószilárdságának 75 %-át.

12. NYOMÓSZILÁRDSÁG

12.1. NYOMÓSZILÁRDSÁG VIZSGÁLAT RONCSOLÁSOS MÓDSZERREL

12.1.1. Általános ismeretek

A nyomás a szilárdságtan egyszerű igénybevételeinek – központos húzás, központos nyomás, hasítás, tiszta nyírás, tiszta hajlítás, tiszta csavarás – egyike. A szilárdságtan összetett igénybevételei az egyenes hajlítás, a külpontos húzás, a külpontos nyomás, a ferde hajlítás, az általános (térbeli) hajlítás.

Az igénybevételek az anyagban feszültséget ébresztenek, és a feszültség az anyag alakváltozását okozza. Az alakváltozás jellege szerint megkülönböztetjük a rideg (például öntött vas, üveg), rugalmas (például acél, beton, kő), képlékeny (például acél), szívós (például szálerősítésű beton) anyagokat.

A szilárdság a legnagyobb feszültség (törőfeszültség), amely mellett az anyag tönkremegy, elszakad, eltörik, elnyíródik stb., illetve az anyag tönkremenetelét közvetlenül megelőző feszültségi határállapot. A nyomás okozta törőfeszültséget nyomószilárdságnak nevezzük.

Az anyagot a terhelő erővel statikusan, tartósan, változóan, dinamikusan vehetjük igénybe, és eszerint beszélünk statikus vizsgálatról, tartós vizsgálatról (kúszás), változó terhelésű (például fárasztó, lengési) vizsgálatról, dinamikus (például ütő) vizsgálatról (*Palotás*: Mérnöki szerkezetek anyagtana I. kötet 1979).

Az anyag nyomási törőfeszültségét nyomószilárdság vizsgálattal határozzuk meg, ennek eredménye annál jobb közelítését adja az elméleti törőfeszültségnek, mennél pontosabb a nyomószilárdság vizsgálat végrehajtása.

A beton nyomószilárdsága vizsgálatának pontosságát, illetve a vizsgálat eredményének megbízhatóságát befolyásoló főbb tényezők a következők (*Palotás – Balázs* 1980):

- a próbatest mérete, alakja és víztartalma;
- a beton legnagyobb szemnagysága;
- a próbatest utókezelésének módja;
- a nyomószilárdság vizsgáló berendezés rendszere és pontossága;
- a próbatest elhelyezkedése a szilárdság vizsgáló gépben;
- a terhelő erő növekedésének sebessége;
- a próbatest nyomott felülete és a vizsgálóberendezés csiszolt nyomólapjai, amelyek egyike a gömbcsukló része, illetve azoknak megfelelő minőségű, a nyomólapok kímélése érdekében alkalmazott alátétlemezek közötti tapadási súrlódás;
- a gömbcsukló kialakítása.

Az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány a kocka, henger és hasáb alakú próbatestek és az elkészítésükhöz szükséges sablonok méreteit és tűréseit írja elő, amelyek nem csak a szilárdság, hanem más tulajdonságok vizsgálatához szükséges próbatestekre és sablonokra is érvényesek. A próbakocka élhossza, a próbahenger átmérője, a próbahasáb oldalélhossza legalább három és félszerese legyen az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának. A beton minősítő erejű átlagos nyomószilárdságának (f_{cm}), jellemző értékének (f_{ck}) és nyomószilárdsági osztályának meghatározásához a 150 mm élhosszúságú próbakockát valamint a 150 mm átmérőjű és 300 mm hosszúságú próbahengert alkalmazzuk. Próbahengerek esetén a mérettűrések a csiszolt vagy kénhabarccsal, aluminátcementtel vagy hasonló módon simított felületű, illetve a homokdobozos eljárással kialakított alaplapú próbahengerekre vonatkoznak.

A sablonok vízzáróak legyenek, és ne szívjanak fel vizet. A kalibrált sablonokat acélból vagy öntöttvasból kell készíteni, a méretek, a síkbeliség, a merőlegesség és az egyenesség tűréseiről az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány intézkedik. A szabvány a sablonok belső felületének

érdességére követelményt nem tartalmaz.

A szilárdság vizsgálatokhoz szükséges próbatestek készítésével, tömörítésével, tárolásával és szállításával az MSZ EN 12390-2:2009 szabvány foglalkozik. A sablont vékony formaleválasztó filmmel kell bevonni. A beton konzisztenciájától és a tömörítési módszertől függően a sablont egy vagy több rétegben kell megtölteni. Öntömörödő beton esetén a sablont egy lépésben kell megtölteni, és a megtöltéskor vagy az után semmilyen mechanikai tömörítést nem szabad alkalmazni. A próbatestet kézzel mintegy 16 mm átmérőjű vagy 25·25 mm keresztmetszeti méretű acélrúddal, S1 és S2 konzisztencia osztályú (roskadás) beton esetén általában rétegenként 25 ütéssel, illetve géppel legalább 40 Hz (2400/perc) frekvenciájú asztalvibrátorral vagy legalább 120 Hz (7200/perc) frekvenciájú merülővibrátorral szabad tömöríteni. Légbuborékképző adalékszerrel készített beton esetén a merülővibrátoros tömörítést óvatosan kell alkalmazni, mert a merülővibrátorral a légbuborék-struktúrát károsíthatjuk. A tömörítést „optimális” ideig – a teljes tömörítésig, amíg buborék már nem úszik fel és a felület zárttá válik –, a beton túltömörítése és szétosztályozása nélkül, legalább két, 100 mm-nél nem vastagabb rétegben kell végezni, majd a próbatestet gondosan le kell simítani. A próbatestet elkészítése után a sablonban legalább 16 órán át, de legfeljebb 3 napos korig nyugalomban, vízvesztéstől óvva, (20 ± 5) °C hőmérsékleten kell tárolni. Kizsaluzás után a próbatestet közvetlenül a vizsgálatig (20 ± 2) ºC hőmérsékletű víz alatt vagy (20 ± 2) ºC hőmérsékletű és 95 % relatív páratartalmú klímakamrában kell tárolni. Az ettől eltérő próbatest tárolási mód hatását az előírt víz alatti, illetve klímakamrás tárolási mód hatására át szabad számítani. Vita esetén a vízben, illetve klímaszekrényben tárolás az érvényes. Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány A2. fejezete (előírás) szerint azokat a vízben tárolt próbatesteket, amelyeket csiszolni kell, a csiszolás előtt legfeljebb 1 órával szabad a vízből kivenni, és a vizsgálatot megelőzően legalább 1 órával újra vízbe kell tenni.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint Magyarországon a próbakockát szabad vegyesen tárolni. Ebben az esetben a próbakockát elkészítése után legalább egy, de legfeljebb három napig (20 ± 5) ˚C hőmérsékleten sablonban, mozdulatlanul kell tárolni úgy, hogy a próbakockából nedvesség ne távozhasson el (például állandóan megnedvesített ruhával letakarva). A vegyes tárolású próbakockát kizsaluzása után 7 napos korig (20 ± 2) ˚C hőmérsékletű víz alatt, majd a vízből kivéve vizsgálatáig legalább 55 % relatív páratartalmú, (20 ± 5) ˚C hőmérsékletű labororatóriumi levegőn, szárazon kell tárolni.

Szállítás közben a vizesen tárolt próbatestet óvni kell a nedvességvesztéstől és a hőmérsékletváltozástól, például nedves homokba, nedves fűrészporba vagy nedves szövetbe ágyazással, vagy vizet tartalmazó lezárt műanyagzsákba helyezéssel (MSZ EN 12390-2:2009).

A nyomószilárdság vizsgálat végrehajtásával az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány foglalkozik. Próbatestként az MSZ EN 12350-1:2009, MSZ EN 12390-1:2013, MSZ EN 12390-2:2009 és MSZ EN 12504-1:2009 szabvány követelményeit kielégítő próbakockát, próbahengert vagy kifúrt magmintát szabad alkalmazni. Az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány szerint a laboratóriumban készített próbahenger átmérője d = (100, 113, 150, 200, 250, 300) mm, hosszúsága $h = 2 \cdot d$, a próbakocka élhosszúsága (100, 150, 200, 250, 300) mm lehet. Fúrt magminta vizsgálata esetén elfogadott az 1:1 hosszúság/átmérő arány is.

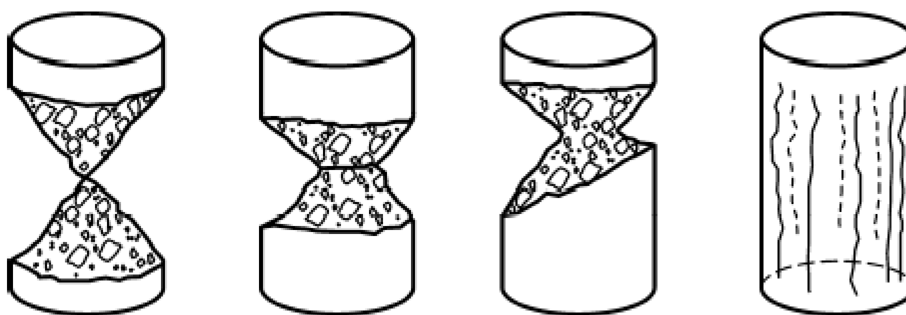
Ha a próbatest mérete vagy alakja nem felel meg az MSZ EN 12390-1:2009 szabvány előírásának, akkor vagy ki kell hagyni a vizsgálatból, vagy ki kell igazítani. A nem megfelelő méretű (megengedett tűrésen kívül eső) próbatestek méretfelvételéről a szabvány B. melléklete szól. A kiigazítás módozatait (csiszolás, habarcsolás, homokdoboz eljárás) az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány A. melléklete (előírás) tárgyalja.

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány szerint a vizsgálat előtt a próbatest felületéről a nedvességet le kell törülni. Az alátétlemezeken vagy a távtartó blokkon (MSZ EN 12390-4:2000) kívül más alátétet használni nem szabad. A próbatestet központosan kell a vizsgáló berendezésbe helyezni, a próbakockát a bedolgozás irányához képest 90 fokkal elfordítva úgy, hogy a sablonban, készítéskor lesimított felülete a vizsgálógép valamelyik oszlopával álljon szembe, és a vizsgálatot végző laboráns lássa a próbakocka lesimított oldalára írt jelet. Próbahenger esetén a habarcsolt simító réteg törése a beton tönkremenetele előtt nem megfelelő törést jelent.

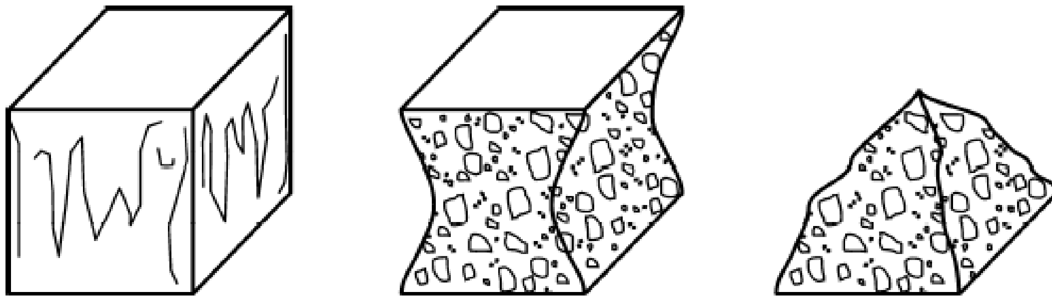
A törési sebességet úgy kell beállítani, hogy a feszültség növekedés (0,6 ± 0,2) N/(mm^2·s) legyen. Miután a kezdeti terhelés a várható törőteher 30 %-át elérte, ± 10 % pontossággal be kell állni az előírt feszültség növekedési sebességre. Például 0,6 N/(mm^2·s) terhelés növekedéssel egy várhatóan 42 N/mm^2 nyomószilárdságú, 150 mm élhosszúságú próbakockát átlagban 42/0,6 = 70 másodperc alatt kell eltörni, amikor is a terhelő erő növekedési sebessége: 42·150·150/70 = 13,5 kN/s. Megjegyezzük, hogy a visszavont MSZ 4715-4:1987 szabvány szerint a nyomófeszültséget (0,5 ± 0,1) N/(mm^2·s) sebességgel kellett növelni. *Palotás László* „Mérnöki szerkezetek anyagtana 1. Általános anyagismeret” című, 1979-ben megjelent könyve III. fejezetének 4.1. szakaszában írta, hogy nagyobb terhelési sebességhez nagyobb törőteher tartozik, és ez a hatás annál nagyobb, minél gyengébb a beton. A terhelési sebességet növelve a σ-ε diagram terhelési ága mindig meredekebbé válik, az alakváltozások kisebbek lesznek, és ha a terhelési sebesség minden határon túl nő, akkor csak rugalmas alakváltozás jöhet létre. Dinamikus igénybevétel esetén a beton alakváltozása általában sokkal kisebb, mint a statikus teherhez tartozó alakváltozás. Ezért a beton az ütésszerű terhek alatt is viszonylag nagyobb teherbírású.

A nyomószilárdság vizsgálati eredményt az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány szerint 0,1 N/mm^2 pontossággal kell megadni.

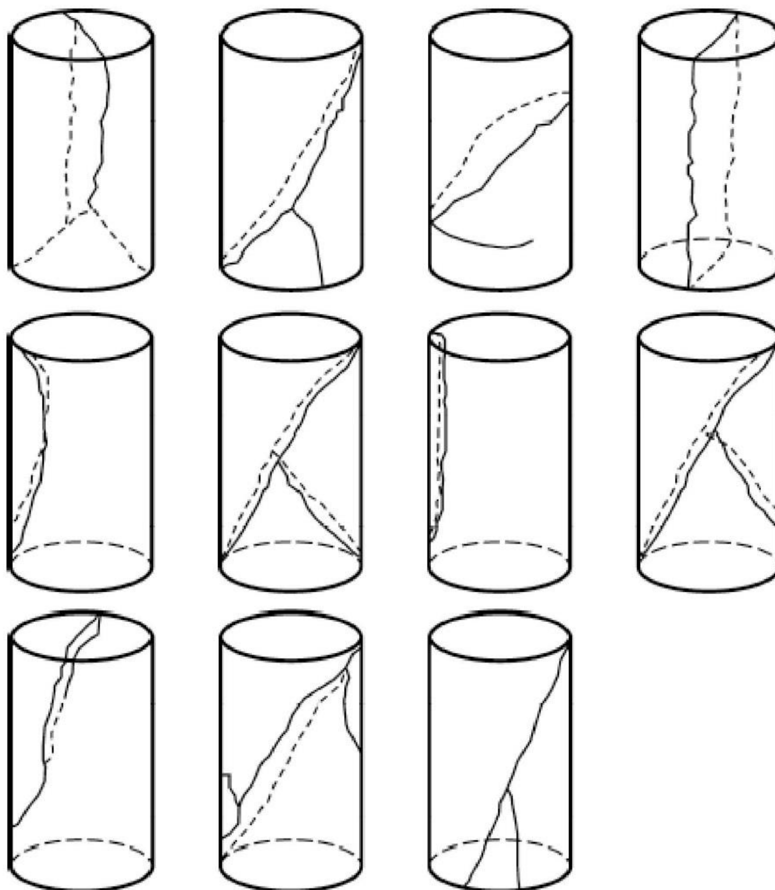
A próbatest törésképének jelzés értéke van. A sík, párhuzamos, egymásra, illetve az alkotókra merőleges oldalakkal rendelkező, középpontosan terhelt próbatest törésképe szabályos, szimmetrikus, ezeknek a feltételeknek a hiányában szabálytalan, aszimmetrikus. Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány vázlatrajzokat mutat be a próbatest megfelelő (*15. – 16. ábra*) és nem megfelelő (*17. – 18. ábra*) törésképére.



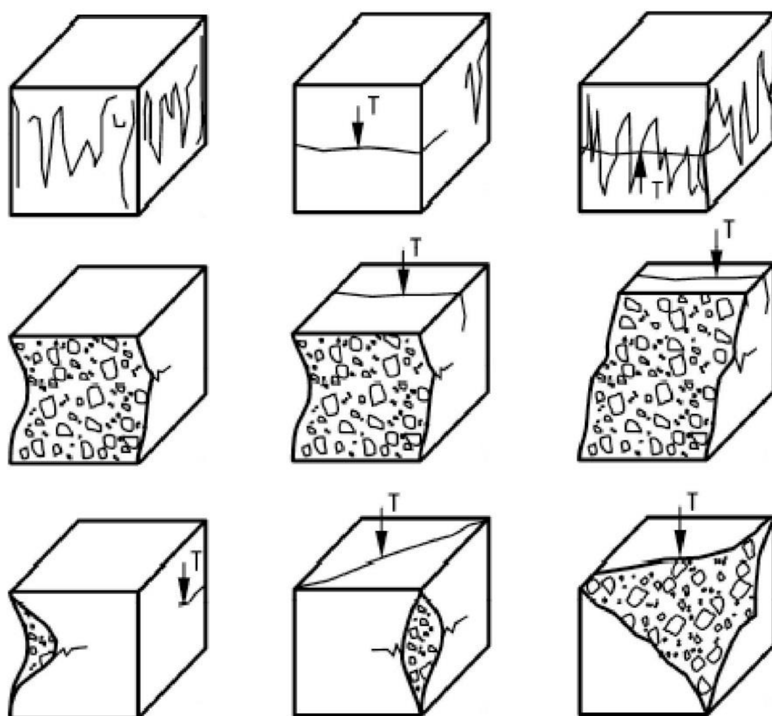
15. ábra: Próbahengerek megfelelő törésképe (MSZ EN 12390-3:2009, *Iken* et al. 2012)



16. ábra: Próbakockák megfelelő törésképe. Megjegyzés: Mind a négy szabad felület közel egyformán törik, a nyomólappal érintkező felületek általában alig sérülnek. A harmadik próbakocka „szétrobbant, összeroppant” (MSZ EN 12390-3:2009 *Iken* et al. 2012).



17. ábra: Próbahengerek nem megfelelő törésképe (MSZ EN 12390-3:2009, *Iken* et al. 2012)



18. ábra: Próbakockák nem megfelelő törésképe.
Megjegyzés: T = Repedés húzásra (MSZ EN 12390-3:2009, *Iken* et al. 2012)

12.1.2. Roncsolásos nyomószilárdság vizsgálati eredmények összeférése

Az MSZ EN 12390-3:2009 nyomószilárdság vizsgálati szabvány az 1. és a 2. táblázatban megadja a nyomószilárdság vizsgálati eredmények ismétlési és összehasonlítási feltételeit, ha egy vizsgálati eredmény két kockaszilárdság mérés átlaga (*23. táblázat*) és ha egy vizsgálati eredmény három hengerszilárdság mérés átlaga (*24. táblázat*). A táblázatok használatához az MSZ EN 12390-3:2009 szabványban magyarázatot nem fűznek.

23. táblázat: Betonpróbakockák vizsgálatából kapott két átlagos nyomószilárdság vizsgálati eredménynek a – ezek átlagos nyomószilárdsága %-ában kifejezett – megengedett *r* ismétlési vagy *R* összehasonlítási terjedelme, ha egy vizsgálati eredmény két mérés átlaga (MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 1. táblázata)

Próbakocka alakja és mérete	Ismétlési feltételek		Összehasonlítási feltételek	
	Szórás s_r %	Terjedelem r %	Szórás s_R %	Terjedelem R %
100 mm	3,2	9,0	5,4	15,1
150 mm	3,2	9,0	4,7	13,2
Megjegyzés	Egy laboráns az ismételhetőség feltételei mellett két vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat két mérésből áll		Két laboráns az összehasonlíthatóság feltételei mellett egy-egy mérést végez, és mindegyik vizsgálat két mérésből áll	
	r/s_r		R/s_R	
100 mm	2,81		2,80	
150 mm	2,81		2,81	

24. táblázat: Betonpróbahengerek vizsgálatából kapott két átlagos nyomószilárdság vizsgálati eredménynek a – ezek átlagos nyomószilárdsága %-ában kifejezett – megengedett *r* ismétlési vagy *R* összehasonlítási terjedelme, ha egy vizsgálati eredmény három mérés átlaga (MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 2. táblázata)

Próbahenger alakja és mérete	Ismétlési feltételek		Összehasonlítási feltételek	
	Szórás s_r %	Terjedelem r %	Szórás s_R %	Terjedelem R %
Ø160·320 mm	2,9	8,0	4,1	11,7
Megjegyzés	Egy laboráns az ismételhetőség feltételei mellett két vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat három mérésből áll		Két laboráns az összehasonlíthatóság feltételei mellett egy-egy vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat három mérésből áll	
	r/s_r		R/s_R	
	2,76		2,85	

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 1. táblázatát (*23. táblázat*) úgy kell érteni, hogy a nyomószilárdságot egy vizsgálat esetén két, ugyanabból a friss beton mintából származó, egyformán kezelt próbakockán kell megmérni. Egy vizsgálat eredménye a két nyomószilárdság mérés átlaga. Ezt a vizsgálatot kétszer kell elvégezni, rövid időn belül (lásd ISO 5725-1), és meg kell vizsgálni a két vizsgálati eredmény összeférését. *Ismétlési feltételek* esetén a vizsgálatot kétszer végzi el ugyanaz a laboráns (tehát összesen 2·2 = 4 próbakocka nyomószilárdságát méri meg), ugyanazon eszközökkel. Az egy laboráns által meghatározott két vizsgálati eredmény akkor fér össze egymással, és 95 %-os valószínűséggel akkor alkalmas a minta nyomószilárdságának a megadására, ha a két átlagérték közti terjedelem (eltérés) és az átlagérték hányadosának százszorosa kisebb, de legfeljebb egyenlő, mint a szabvány 1. táblázatában szereplő $r^{\%}$ érték (korlát). *Összehasonlítási feltételek* esetén a vizsgálatot egyszer-egyszer végzi el két, különböző laboratóriumban dolgozó laboráns (tehát ebben az esetben is összesen 2·2 = 4 próbakocka nyomószilárdságát mérik meg), mindegyikük a saját eszközeivel, tehát különböző eszközökkel. A két laboráns által meghatározott egy-egy vizsgálati eredmény akkor fér össze egymással, és 95 %-os valószínűséggel akkor alkalmas a minta nyomószilárdságának a megadására, ha a két átlagérték közti terjedelem (eltérés) és az átlagérték hányadosának százszorosa kisebb, de legfeljebb egyenlő, mint a szabvány 1. táblázatában szereplő $R^{\%}$ érték (korlát).

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 2. táblázatát (*24. táblázat*) úgy kell érteni, hogy a nyomószilárdságot egy vizsgálat esetén három, ugyanabból a friss beton mintából származó, egyformán kezelt próbahengeren kell megmérni. Egy vizsgálat eredménye a három nyomószilárdság mérés átlaga. Ezt a vizsgálatot mindig kétszer kell elvégezni, rövid időn belül (lásd ISO 5725-1), és meg kell vizsgálni a két vizsgálati eredmény összeférését. *Ismétlési feltételek* esetén a vizsgálatot kétszer végzi el ugyanaz a laboráns (tehát összesen 2·3 = 6 próbahenger nyomószilárdságát méri meg), ugyanazon eszközökkel. Az egy laboráns által meghatározott két vizsgálati eredmény akkor fér össze egymással, és 95 %-os valószínűséggel akkor alkalmas a minta nyomószilárdságának a megadására, ha a két átlagérték közti terjedelem (eltérés) és az átlagérték hányadosának százszorosa kisebb, de legfeljebb egyenlő, mint a szabvány 2. táblázatában szereplő $r^{\%}$ érték (korlát). *Összehasonlítási feltételek* esetén a vizsgálatot egyszer-egyszer végzi el két, különböző laboratóriumban dolgozó laboráns (tehát ebben az esetben is összesen 2·3 = 6 próbahenger nyomószilárdságát mérik meg), mindegyikük a saját eszközeivel, tehát különböző eszközökkel. A két laboráns által meghatározott egy-egy vizsgálati eredmény akkor fér össze egymással, és 95 %-os valószínűséggel akkor alkalmas a minta nyomószilárdságának a megadására, ha a két átlagérték közti terjedelem (eltérés) és az

átlagérték hányadosának százszorosa kisebb, de legfeljebb egyenlő, mint a szabvány 2. táblázatában szereplő $R^{\%}$ érték (korlát).

Magyarázat: A szabvány a megengedett relatív terjedelem (r =, illetve R = 100·terjedelem/átlag) megadásával a relatív szórást (s_r =, illetve s_R = 100·szórás/átlag) korlátozza, mert a relatív vizsgálati terjedelem és a relatív vizsgálati szórás hányadosának (r/s_r, illetve R/s_R) elméleti értéke 95 %-os statisztikai biztonság mellett, két vizsgálat esetén 2,77. Az r/s_r, illetve R/s_R hányados gyakorlati értéke attól függ, hogy az r, illetve R megengedett relatív terjedelmet (korlátot) a körvizsgálat során hány laboráns (laboratórium) részvételével határozták meg. Feltehető, hogy ha a körvizsgálatot más körülmények között, például más beton összetevőkkel és összetételekkel végezték volna, más relatív szórás határértékekre jutottak volna.

Ha a relatív terjedelemre vonatkozó követelmény (r, illetve R korlát) teljesül, akkor a vizsgálatokat 95 %-os valószínűséggel az ismétlési, illetve az összehasonlítási feltételek között végezték; és 95 % annak a valószínűsége, hogy a két vizsgálati eredmény azon vizsgálati eredmények közé tartozik, amelyek relatív terjedelme kisebb a relatív terjedelemre vonatkozó követelménynél (r, illetve R korlát), vagy azzal legfeljebb egyenlő.

Arra a kérdésre, hogy mi a teendő, ha a relatív terjedelemre vonatkozó követelmény nem teljesül, az MSZ EN 12390-3:2009 szabványban nem adnak választ. Javasolható azonban, hogy ebben az esetben – ha a nyomószilárdság vizsgálati eredmény pontosságában érdekelt laboratórium vagy laboratóriumok elhatározták, hogy két vizsgálat esetén a vizsgálati eredmények összeférésének elvét az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 1. és 2. táblázatának adatai alapján követik, akkor – a méréseket nagyobb gondossággal meg kell ismételni, és a követelményt nem teljesítő vizsgálati eredményeket el kell vetni mindaddig, amíg a laboráns, illetve laboránsok elfogadható eredményre nem jutnak.

12.2. Nyomószilárdság vizsgálat Schmidt-kalapáccsal

A *Schmidt*-kalapács rugós szerkezet, amelynek használata során a megfeszített ütőrugó az ütőkost a vizsgálandó felületre illesztett ütőcsaphoz repíti, ahonnan az visszapattan. A számos tényező befolyásolta visszapattanás mértékét, illetve sebességét a beton nyomószilárdságával hozzuk kapcsolatba.

A *Schmidt*-kalapácsos vizsgálat általában szerkezetbe beépített betonok nyomószilárdságának meghatározására akkor alkalmazható, ha a beton felületi rétege és belseje között – a felület karbonátosodásától eltekintve – nincs számottevő szövetszerkezeti eltérés. A vizsgált betonnak legalább 100 mm vastagságúnak, merevnek, vagy mereven megtámasztottnak és légszáraz állapotúnak kell lennie, és a karbonátosodási mélysége lehetőleg ne legyen 5 mm-nél több. A száraz betonon nagyobb, a vizes (vízzel telített) betonon kisebb visszapattanást mérhetünk. A beton felülete vakolattól mentes, közvetlenül vizsgálható, sima legyen. A felületi egyenetlenségeket a *Schmidt*-kalapácshoz mellékelt közepes szemnagyságú szilícium-karbid vagy hasonló anyagú csiszolókővel lehet eltávolítani.

A *Schmidt*-féle rugós kalapács *Ernst O. Schmidt* (1950, 1951, 1954) bázeli, építőmérnök találmánya, aki Svájcban 1950. június 7-én, az USA-ban 1951. május 29-én (*19. ábra*) nyújtotta be „Eljárás és készülék építőanyagok felületi keménységének vizsgálatára” című szabadalmát (*Kalt* 2000).

A ma gyártott *N*-típusú *Schmidt*-kalapács (ütőenergiája 2,207 N·m) a közönséges betonok (*20. ábra*), az *L*-típusú *Schmidt*-kalapács (ütőenergiája 0,735 N·m) a könnyűbetonok, valamint az 50-100 mm vastagságú betonok vizsgálatára alkalmas. A *Schmidt*-kalapácsot az *N*- és *L*-típusú alapmodelleken kívül regisztrálós (*NR*, *LR*), digitális (*Digi-Schmidt*, *ND*, *LD*) és újabban

a visszapattanás sebességét mérő, szintén digitális, az alapmodellekkel azonos ütőenergiájú és típusú (*SilverSchmidt*, Silver = ezüst, angolul) modell formájában gyártják.

A tömeg- és útbetonok, repülőtéri burkolatok vizsgálatára használt *M*-típusú *Schmidt*-kalapács (ütőenergiája 29,430 N·m) ma már nem készül. Az elsősorban könnyűbetonok függőleges felületének vizsgálatára alkalmas *P*-típusú *Schmidt* kalapács (ütőenergiája 0,883 N·m) – amelynek a kosát függőleges felületek vizsgálatánál csak a nehézségi erő mozgatja, vízszintes felületek vizsgálatánál pedig a nehézségi erő hatását még a beépített rugó ereje egészíti ki –, hazánkban nem nagyon terjedt el.

Az *N*-, *L*-, *NR*-, *LR*-, *ND*-, *LD*-típusú hagyományos *Schmidt*-kalapácsokkal meghatározott, leolvasott visszapattanási érték (*R* = Rückprall németül) a visszapattanó ütőkos útjával ($\Delta s_{\text{visszapattanás}}$) hozzávetőlegesen az

$R = 1{,}34328 \cdot \Delta s_{\text{visszapattanás}} + 10{,}0$; illetve a $\Delta s_{\text{visszapattanás}} = 0{,}74444 \cdot R - 7{,}44444$

összefüggés szerint arányos, az ütőkos visszapattanási útja ($\Delta s_{\text{visszapattanás}}$) pedig az ütőkos visszapattanási energiája ($E_{\text{ütőkos,visszapattanási}}$) és az ütőrugó ütési rugalmas energiája ($E_{\text{rugó,ütési}}$) hányadosa (Ψ_R) négyzetgyökének függvénye, mert:

$$\Psi_R = \frac{E_{\text{ütőkos,visszapattanási}}}{E_{\text{rugó,ütési}}} = \frac{(F_{\text{visszapattanás}} \cdot \Delta s_{\text{visszapattás}})/2}{(F_{\text{ütés}} \cdot \Delta s_{\text{ütés}})/2} = \frac{(D/2) \cdot \Delta s_{\text{visszapattanás}}^2}{(D/2) \cdot 75^2} = \frac{\Delta s_{\text{visszapattanás}}^2}{75^2}$$

és $\Delta s_{\text{visszapattanás}} = 75 \cdot \sqrt{\Psi_R}$, amiből: $R = 100{,}746 \cdot \sqrt{\Psi_R} + 10{,}0$;

ahol $F_{\text{visszapattanás}} = D \cdot \Delta s_{\text{visszapattanás}}$ a rugóerő a visszapattanás során, $F_{\text{ütés}} = D \cdot \Delta s_{\text{ütés}}$ a kihúzott ütőrúgó ereje, *D* a direkciós állandó (a „*c*” rugóállandó reciproka), $\Delta s_{\text{visszapattanás}}$ a visszapattanó ütőkos útja, $\Delta s_{\text{ütés}} = 75$ mm a megfeszített ütőrugó megnyúlása (*Brandestini* 2010). Például, ha $R = 40$, akkor $\Delta s_{\text{visszapattanás}} = 22{,}33$ mm és $\Psi_R = 0{,}08867$.

A *Schmidt*-kalapács működését *Weiss György* (1974) és *Borján József* (1981) könyvében tanulmányozhatjuk, a hagyományos *N*-típusú műszer metszetét szállítási helyzetben mutató rajzát *Weiss György* könyvéből kölcsönöztük (*21. ábra*).

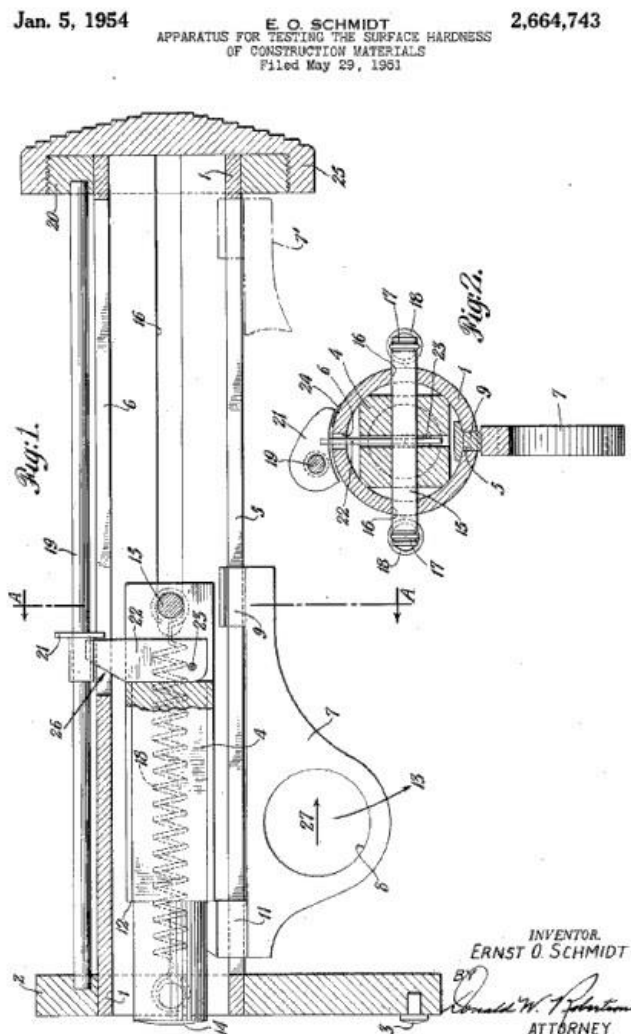
A kalapács hőmérséklete a vizsgálat idején (+10 és +30) °C között legyen, amit minden mérés alkalmával ellenőrizni kell.

A műszer megfelelő működését minden mérés sorozat előtt, pontosságát évente, vagy 5000 ütés után ellenőrizni kell, mert elszennyeződhet, a rugók kinyúlhatnak stb. A pontosság-ellenőrzést kizárólag a gyártó cég által forgalmazott kalibráló üllőn szabad elvégezni (ÚT 2-2.204:1999; e-UT 09.04.11). A kalibráló üllő az MSZ EN 12504-2:2013 szabvány szerint legalább 52 HRC *Rockwell* keménységű mérőfelülettel rendelkezik, tömege (16,0 ± 1,0) kg és az átmérője mintegy 150 mm.

A megfelelő állapotú *Schmidt*-kalapács a kalibráló üllőn 78-82 közötti visszapattanási értéket mutat. Ha az üllőn ennél kisebb értéket kapunk, akkor a mérő helyzetbe hozott *Schmidt*-kalapács zárófedelének (11.) lecsavarása után megkísérelhetjük a hibát a kalibráló csavar (20.) beljebb csavarásával javítani; ha a műszert nem állítjuk mérő helyzetbe, akkor a felhúzórugó (12.) balesetet okozhat. Ha a kalibráló csavar beljebb csavarása nem hoz eredményt, akkor a kalibráló csavart (20.) kissé kifelé kell csavarni és az ütőrugó (16.) végét az ütőrugó rögzítő elemen néhány furattal áthelyezve meg lehet változtatni a rugófeszítés mértékét (*Borján* 1981). A *Schmidt*-kalapács balesetmentes szétszedését, beállítását, tisztítását és helyes összeszerelését gyakorlott szakembertől kell megtanulni.

A visszapattanás mérés végrehajtását és a műszeren leolvasott visszapattanási értékek értékelését az előírásoknak megfelelően kell végezni. Ez azért nem egyszerű feladat, mert a

szabványok, műszaki előírások, gyári ismertetők a nyomószilárdság becslő összefüggések tekintetében nem egységesek.



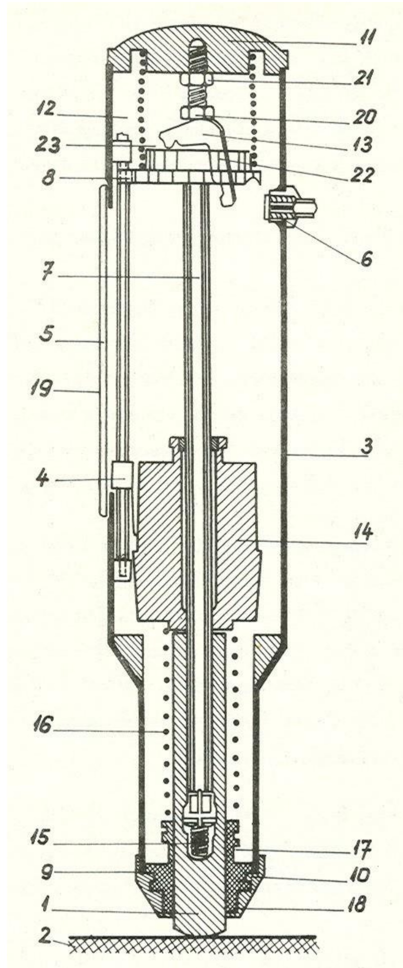
19. ábra: Az eredeti *Schmidt*-kalapács rajza az 1954. évi (1951-ben benyújtott) amerikai szabadalmi leírásból *(Schmidt*, Patent US 2,664,743, 1954)



20. ábra: *N*-típusú *Schmidt*-kalapács skálája

Szilágyi Katalin és *Borosnyói Adorján* (2008) széleskörű kutatómunkával összegyűjtötte, összehasonlította és értékelte a *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes vizsgálat nyomószilárdság becslő összefüggéseit, és megállapította, hogy ha az irodalomban, előírásokban, szabványokban szereplő „összefüggések valamelyikére alapozva kívánjuk egy műtárgy betonjának nyomószilárdságát becsülni, úgy leginkább a *Proceq-B* görbe, vagy valamely ahhoz közel eső görbe használata javasolható.” A vízszintes irányú vizsgálathoz tartozó *Proceq*-féle becslő összefüggés alapgörbéje, a *Proceq-B* görbe a *22., 23.* és *25. ábra* középső görbéje, illetve táblázatbeli értéke a *26. táblázat* $\alpha = 0°$ ⇨ oszlopa.

A *Schmidt*-kalapácsot gyártó *Proceq SA* (1954-ben alapította *Antonio Brandestini*) nyomószilárdság becslő összefüggése fúrt magminták nyomószilárdságának meghatározása nélkül használható. Az *N*/*NR*-típusú és az *L*/*LR*-típusú *Schmidt*-kalapács becslő összefüggését a *22. ábrán,* az *N*/*NR*-típusú *Schmidt*-kalapács becslő összefüggését nagyobb léptékben és eredeti feliratokkal a *23. ábrán* tüntettük fel. Ezeknek a becslő összefüggéseknek a használata előtt a műszeren leolvasott visszapattanási értéket több szempont szerint is korrigálni kell. A *22.* és *23. ábr*án a visszapattanási érték alatt a korrigált visszapattanási értéket kell érteni.



1. ütőcsap
2. beton
3. műszerház
4. mutató (index)
5. skála
6. rögzítő gomb
7. vezetőrúd
8. vezetőtárcsa
9. porsapka
10. kétrészes gyűrű
11. zárófedél
12. felhúzórugó
13. kioldó szerkezet
14. ütőkos
15. visszalökő rugó
16. ütőrugó
17. hüvely
18. filckarika
19. plexiüvegablak
20. kalibráló csavar
21. ellenanya
22. biztosítószeg
23. kioldó szerkezet rugója

21. ábra: *N*-típusú *Schmidt*-kalapács metszete szállítási helyzetben. Forrás: *Weiss* (1974).

A helyesen beállított *Schmidt*-kalapáccsal mért visszapattanási értékek (R_i) átlagát ($\overline{R}$) a kalibráló üllőn mért visszapattanási értékek átlagának ($R_{üllő}$) függvényében a következő összefüggéssel korrigálni kell:

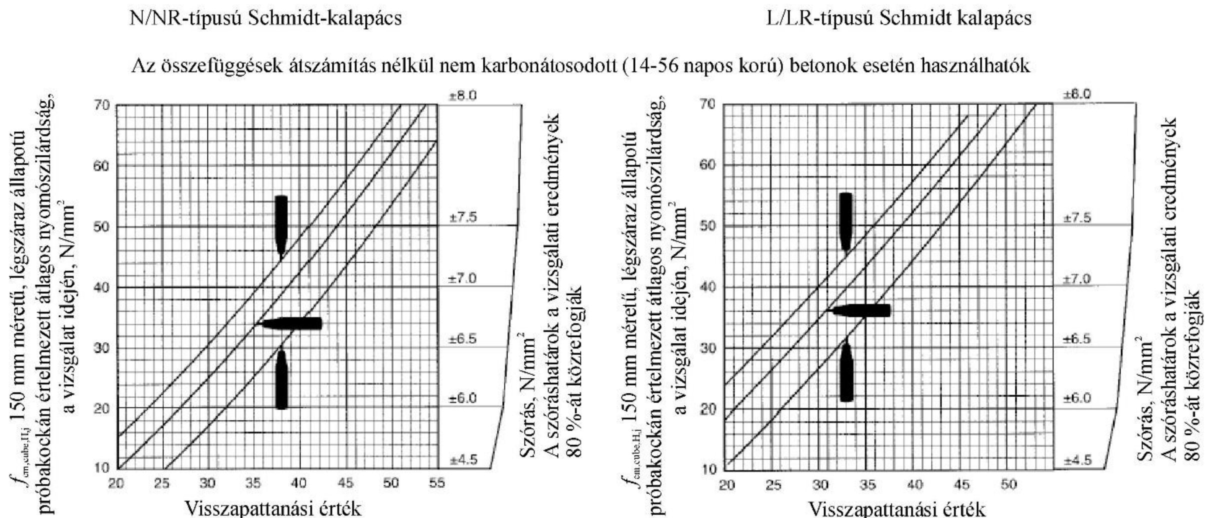
$$R_{kalibr} = \overline{R} \cdot \frac{80}{R_{üllő}}$$

A kalibrálási hibával korrigált visszapattanási értéket (R_{kalibr}) a beton kora, illetve karbonátosodása függvényében csökkenteni kell, mert a karbonátosodás a beton felületi rétegét keményebbé teszi, ezáltal a visszapattanási érték nagyobb lesz, de a szerkezet nyomószilárdsága a karbonátosodás folytán nem növekszik. A *Proceq SA* (2003) által a hagyományos *N*-, *L*-típusú és digitális *Schmidt*-kalapáccsal meghatározott visszapattanási értékek csökkentésére megadott, a JGJ/T23:2001 számú kínai szabványból levezetett diagramot a *24. ábrán* tüntettük fel. A diagram annyiban jól használható, hogy a szükséges korrekció mértékét nem a beton kora, hanem a karbonátosodás mélysége függvényében adja meg, de a megadott karbonátosodási csökkentő tényező európai körülmények között túl nagy. A karbonátosodás miatt korrigált visszapattanási érték a beton vizsgálati korában érvényes.

A visszapattanási érték az ütésirány függvénye, mert a vízszintestől eltérő ütésirány estén a nehézségi erő ütésirányú vektora hozzáadódik a rugóerőhöz, felfele irányuló vizsgálat esetén növelve, lefele irányuló vizsgálat esetén csökkentve azt.

A beton nyomószilárdsága a felfele (α = + 90°) történt vizsgálat – kalibrálási hibával és a karbonátosodás miatt – korrigált visszapattanási értékéből ($R_{v\uparrow}$), illetve a lefele (α = – 90°) történt vizsgálat – kalibrálási hibával és a karbonátosodás miatt – korrigált visszapattanási

értékéből ($R_{v\downarrow}$) a megfelelő ütésirány szerint transzformált becslő görbén közvetlenül leolvasható (*22., 23.* és *25. ábra*).



22. ábra: *N/NR*-típusú és az *L/LR* típusú *Schmidt* kalapács *Proceq SA*-féle nyomószilárdság becslő összefüggése

A *Proceq*-féle *N-*, *NR-*, *ND*-típusú nyomószilárdság becslő összefüggések adott nyomószilárdságú beton vizsgálati iránytól függő visszapattanási értékeit a *25. táblázatban*, a beton nyomószilárdságát a visszapattanási érték függvényében a *26. táblázatban* tüntettük fel.

A *26. táblázat* adataiból megszerkesztettük a *25. ábra* becslő görbéit.

Felfele történő ütés esetén ($R_{v\uparrow}$, $R_{v\nearrow}$), illetve lefele történő ütés esetén ($R_{v\downarrow}$, $R_{v\searrow}$) az irány szerinti ΔR_α korrekció és a karbonátosodás miatt szükséges korrekció után a beton – 150 mm élhosszúságú, légszáraz, próbakockán értelmezett, a vizsgálat idején meglévő – átlagos nyomószilárdsága a vízszintes irányú vizsgálathoz tartozó *Proceq*-féle becslő összefüggés alapgörbéje, a *Proceq-B* görbe (*22., 23.* és *25. ábra* középső görbéje) vagy táblázatbeli értéke (*26. táblázat* $\alpha = 0°$ ⇨ oszlopa) felhasználásával is meghatározható. Ugyanis a ΔR_α korrekciós összeadandót az ütésirány szerinti visszapattanási értékhez (felfele történő ütés esetén: $R_{v\uparrow}$, $R_{v\nearrow}$, illetve lefele történő ütés esetén $R_{v\downarrow}$, $R_{v\searrow}$) előjel szerint hozzáadva a vízszintes ütésirányhoz tartozó visszapattanási értékre jutunk (R_h), amelyből a karbonátosodás miatt szükséges korrekció után a *Proceq-B* görbéből vagy táblázatbeli értékéből a nyomószilárdságot meg tudjuk határozni.

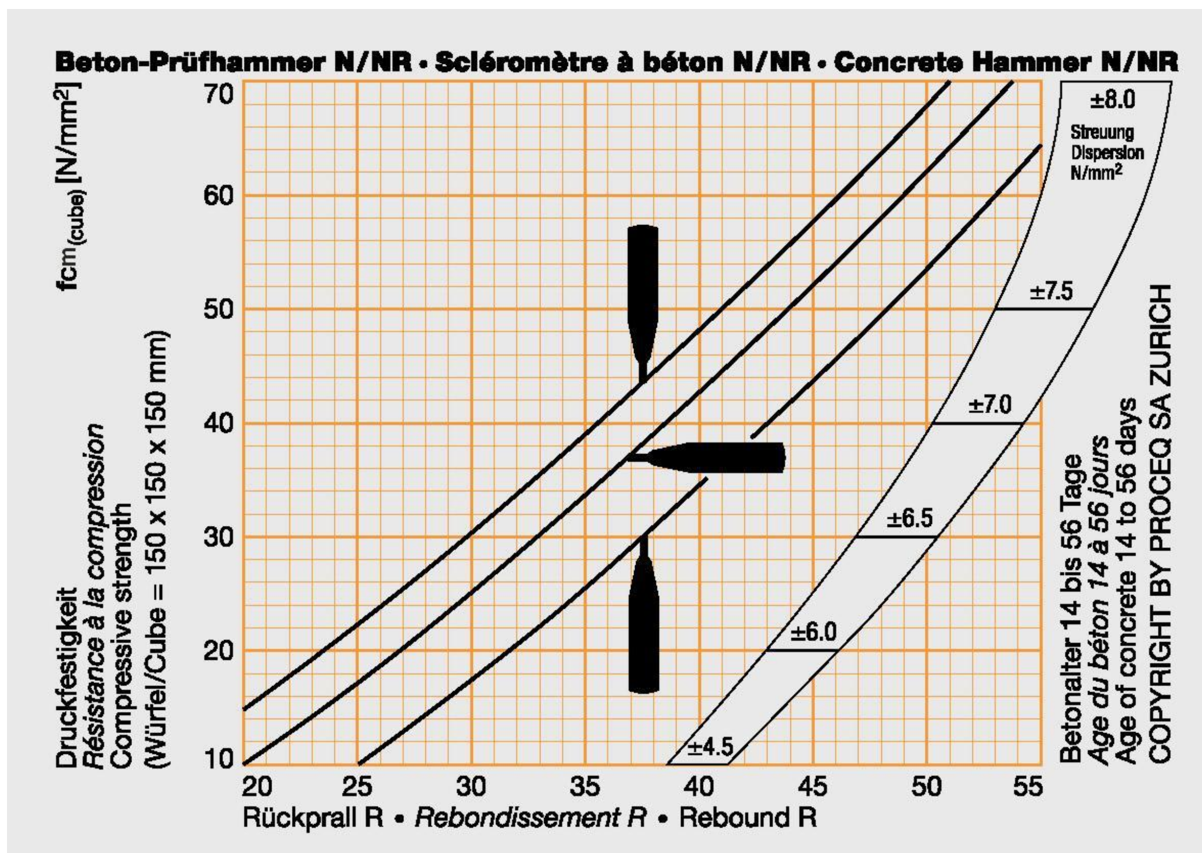
Felfele történő ($\alpha = +\,90°$) vizsgálat esetén a nehézségi erő visszapattanási értéket növelő hatását ($\Delta R_{\alpha=+90°}$) a műszeren leolvasott értékből ($R_{v\uparrow}$) le kell vonni. A levonandó érték a műszeren leolvasott érték ($R_{v\uparrow}$) és az ugyanakkora nyomószilárdsághoz, de vízszintes ütésirányhoz ($\alpha = 0°$) tartozó visszapattanási érték (R_h) különbsége:

$$\Delta R_{\alpha=+90°} = R_{v\uparrow} - R_h$$

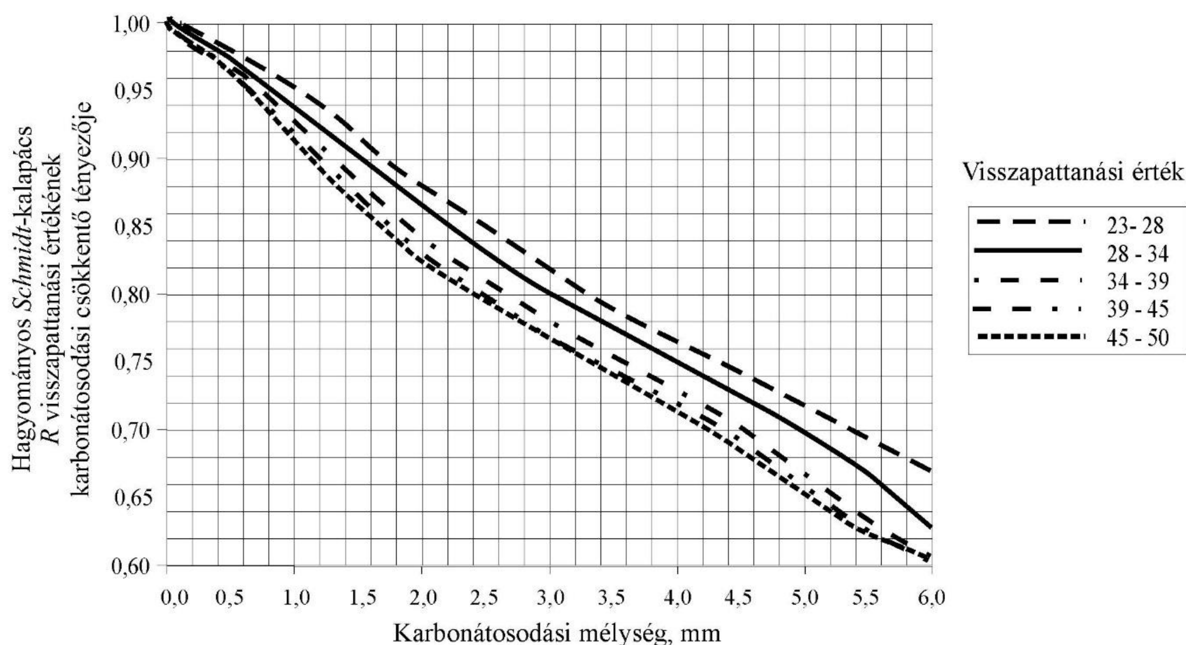
Lefele történő ($\alpha = -\,90°$) vizsgálat esetén a nehézségi erő visszapattanási értéket csökkentő hatását ($\Delta R_{\alpha=-90°}$) a műszeren leolvasott értékhez ($R_{v\downarrow}$) hozzá kell adni. A hozzáadandó érték a műszeren leolvasott érték ($R_{v\downarrow}$) és az ugyanakkora nyomószilárdsághoz, de vízszintes ütésirányhoz ($\alpha = 0°$) tartozó visszapattanási érték (R_h) különbsége:

$$\Delta R_{\alpha=-90°} = R_h - R_{v\downarrow}$$

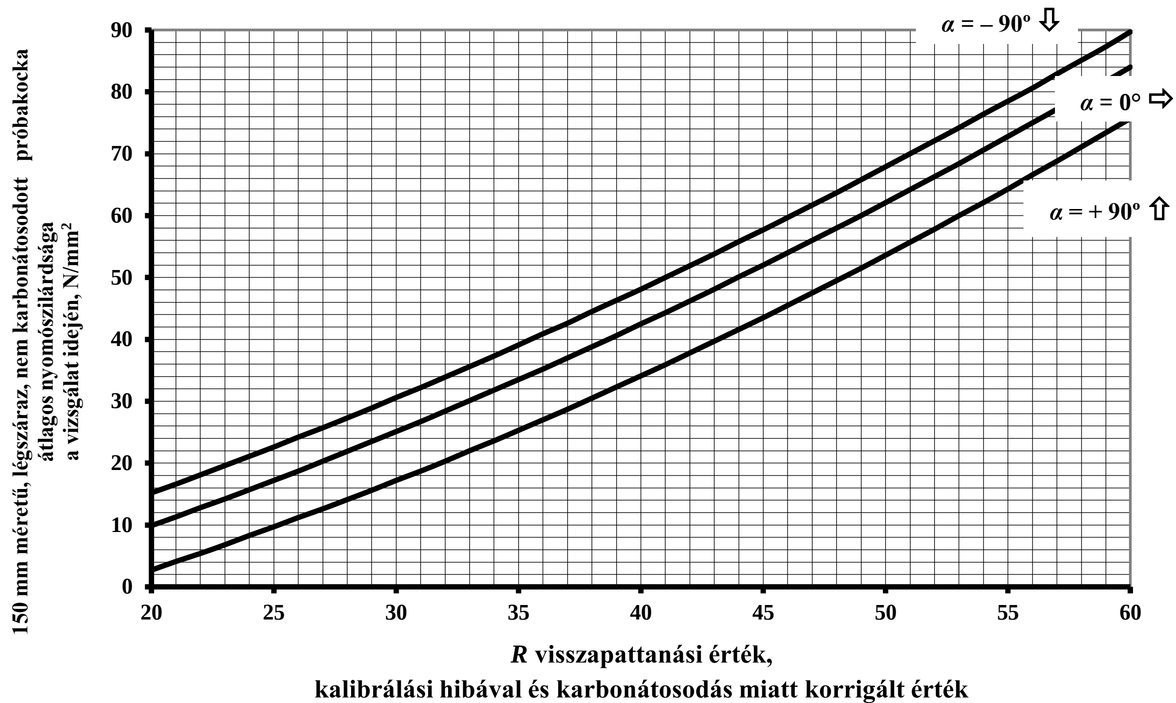
Az *N-*, *NR-*, *ND*-típusú *Schmidt*-kalapács ütésirány szerinti ΔR_α korrekciós összeadandó értékeit a *27. táblázat* tartalmazza.



23. ábra: *N*/*NR*-típusú *Schmidt*-kalapács *Proceq SA*-féle nyomószilárdság becslő összefüggése. Eredeti műszercímke



24. ábra: Karbonátosodási korrekciós diagram a hagyományos *N*-, *L*-típusú és digitális *Schmidt*-kalapács *R* visszapattanási értékének csökkentésére japán kísérletek alapján. A diagramban szereplő karbonátosodási csökkentő tényező európai körülmények között valószínűleg túl nagy (*Proceq SA* 2003)



25. ábra: *Proceq SA*-féle nyomószilárdság becslő összefüggés *N*-, *NR*- *ND*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén, az ütésirány függvényében

A *Schmidt*-kalapácsos vizsgálat eredményeképpen a beton 150 mm élhosszúságú, légszáraz, esetleg karbonátosodott próbakockán értelmezett, becsült, a vizsgálat idején valószínűsíthető átlagos nyomószilárdságából ($f_{cm,cube,H,t}$) a *31. ábrán* található

$$f_{cm,cyl,t} = 0{,}75 \cdot f_{cm,cube,H,t}$$

összefüggés segítségével ki kell számítani a beton 150 mm átmérőjű és 300 mm hosszúságú, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett, a vizsgálat idején valószínűleg meglévő átlagos nyomószilárdságát ($f_{cm,cyl,t}$). A *t* index a beton korára utal.

A *Proceq SA* közleményeit tekintve (2003) érdemes pillantást vetnünk az *N*-típusú *Schmidt*-kalapács, vízszintes ütésirányhoz tartozó japán nyomószilárdság becslő összefüggéseire, amelyeket a *Proceq-B* alapgörbével egy koordinátarendszerben ábrázoltak (*26. ábra*). Japánban csak az ott kidolgozott „Portland Cement”, „Early Strength” és „Blast Furnace” görbének az „Average Curve” elnevezésű átlaggörbéjét használják. Az „Early Strength” görbét a nagy kezdő szilárdságú portlandcement-betonokon (frühfester Beton), a „Blast Furnace” görbét a kohósalakcement kötőanyagú betonokon (Beton aus Hochofenzement) mért visszapattanási érték nyomószilárdságra való átszámításához dolgozták ki. Európában továbbra is a *Proceq SA* becslő görbéi a legelfogadottabbak.

25. táblázat: Adott nyomószilárdságú beton vizsgálati iránytól függő visszapattanási értékei a *Proceq SA*-féle nyomószilárdság becslő összefüggések alapján *N*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén

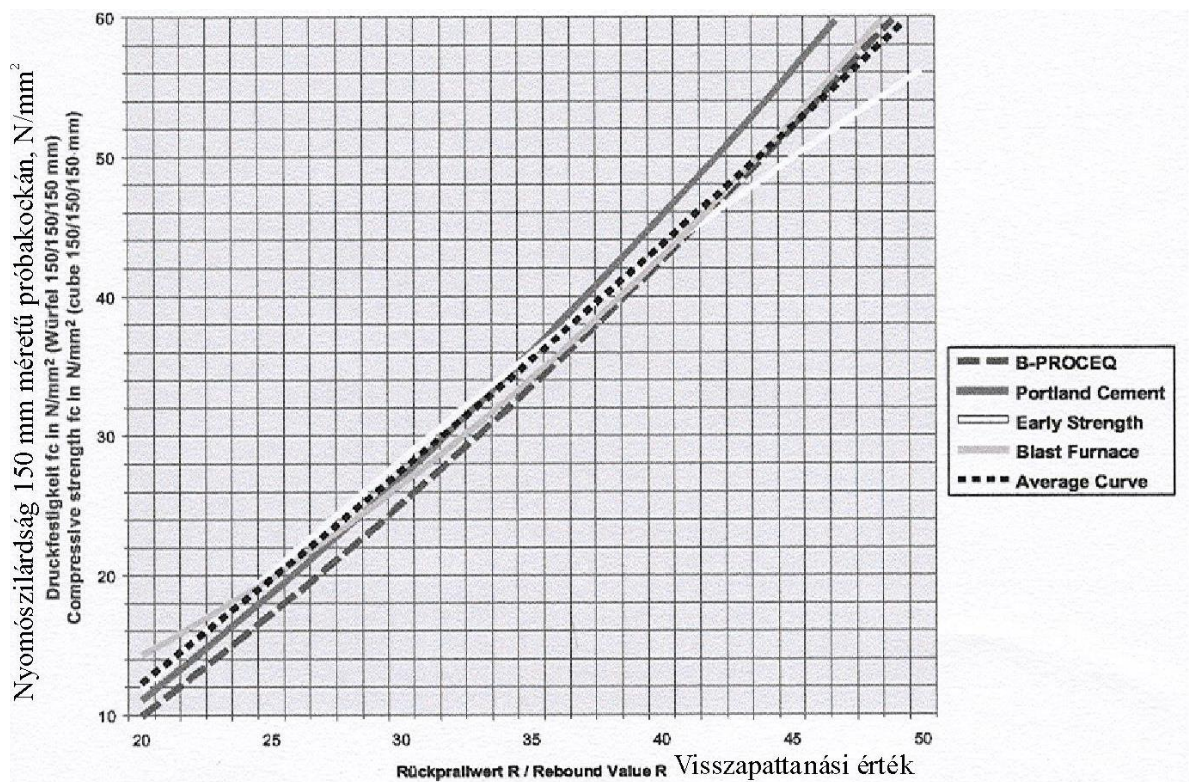
Kalibrálási hibával korrigált visszapattanási érték		
$R_{h\ kalibr}$	$R_{v\uparrow\ kalibr}$	$R_{v\downarrow\ kalibr}$
$\alpha = 0°$ ⇨	$\alpha = +90°$ ⇧	$\alpha = -90°$ ⇩
ütésirány		
20	25,5	16,6
21	26,4	17,6
22	27,3	18,6
23	28,3	19,7
24	29,2	20,3
25	30,1	21,8
26	31,0	22,8
27	31,9	23,9
28	32,9	24,9
29	33,8	26,0
30	34,7	27,0
31	35,6	28,0
32	36,5	29,1
33	37,5	30,1
34	38,4	31,2
35	39,3	32,2
36	40,2	33,2
37	41,1	34,3
38	42,1	35,3
39	43,0	36,4
40	43,9	37,4
41	44,8	38,5
42	45,7	39,5
43	46,7	40,6
44	47,6	41,6
45	48,5	42,6
46	49,2	43,7
47	50,3	44,7
48	51,3	45,8
49	52,2	46,8
50	53,1	47,8
51	54,0	48,9
52	54,9	49,9
53	55,9	51,0
54	56,8	52,0
55	57,7	53,1
56	58,6	54,1
57	59,5	55,2
58	60,5	56,2
59	61,4	57,2
60	62,3	58,3

26. táblázat: A beton ütésiránytól függő nyomószilárdsága a kalibrálási hibával és a karbonátosodás miatt korrigált visszapattanási érték függvényében a *Proceq SA*-féle nyomószilárdság becslő összefüggések alapján az *N*-, *NR*-, *ND*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén

Kalibrálási hibával és karbonátosodás miatt korrigált visszapattanási érték R_h, $R_{v\uparrow}$, $R_{v\downarrow}$	150 mm élhosszúságú, légszáraz, nem karbonátosodott próbakocka átlagos nyomószilárdsága a vizsgálat idején, N/mm²		
	$\alpha = 0°$ ⇨	$\alpha = +90°$ ⇧	$\alpha = -90°$ ⇩
	ütésirány esetén		
20	9,9	2,7	15,2
21	11,3	4,1	16,6
22	12,8	5,4	18,1
23	14,2	6,8	19,6
24	15,7	8,3	21,1
25	17,2	9,7	22,6
26	18,7	11,2	24,2
27	20,3	12,6	25,7
28	21,9	14,1	27,3
29	23,5	15,6	28,9
30	25,1	17,2	30,6
31	26,7	18,7	32,2
32	28,4	20,3	33,9
33	30,1	22,0	35,6
34	31,8	23,6	37,3
35	33,5	25,3	39,1
36	35,2	27,0	40,9
37	37,0	28,7	42,6
38	38,8	30,5	44,5
39	40,6	32,3	46,3
40	42,5	34,1	48,1
41	44,3	35,9	50,0
42	46,2	37,8	51,9
43	48,1	39,7	53,8
44	50,1	41,6	55,8
45	52,0	43,5	57,7
46	54,0	45,5	59,7
47	56,0	47,5	61,7
48	58,0	49,5	63,7
49	60,0	51,5	65,8
50	62,1	53,6	67,9
51	64,2	55,7	70,0
52	66,3	57,8	72,1
53	68,4	60,0	74,2
54	70,6	62,1	76,4
55	72,8	64,3	78,5
56	75,0	66,6	80,6
57	77,2	68,8	82,9
58	79,5	71,1	85,1
59	81,7	73,4	87,3
60	84,0	75,7	89,7

27. táblázat: Az *N*-, *NR*-, *ND*-típusú *Schmidt*-kalapács ütésirány szerinti ΔR_α korrekciós összeadandó értéke. Az α = + 90º-os ⇧ és az α = − 90º-os ⇩ ütésirányhoz tartozó értékeket a *25. táblázatból* számítottuk ki, az α = + 45°-os ⬀ és α = − 45°-os ⬂ ütésirányhoz tartozó értékek forrása: *Iken* et al (2012.)

Kalibrálási hibával javított visszapattanási érték vízszintestől eltérő ütésirány esetén $R_{v\uparrow}$, $R_{v\nearrow}$, $R_{v\downarrow}$, $R_{v\searrow}$	Ütésirány, α			
	+ 90º ⇧	+ 45º ⬀	− 45º ⬂	− 90º ⇩
	Ütésirány szerinti korrekciós összeadandó, ΔR_α			
20	− 5,5	− 4,0	+ 2,0	+ 3,4
21	− 5,4	− 3,9	+ 2,0	+ 3,4
22	− 5,3	− 3,8	+ 2,0	+ 3,4
23	− 5,3	− 3,7	+ 2,0	+ 3,3
24	− 5,2	− 3,6	+ 2,0	+ 3,7
25	− 5,1	− 3,5	+ 2,0	+ 3,2
26	− 5,0	− 3,4	+ 2,0	+ 3,2
27	− 4,9	− 3,3	+ 2,0	+ 3,1
28	− 4,9	− 3,2	+ 2,0	+ 3,1
29	− 4,8	− 3,1	+ 2,0	+ 3,0
30	− 4,7	− 3,0	+ 2,0	+ 3,0
31	− 4,6	− 3,0	+ 2,0	+ 3,0
32	− 4,5	− 3,0	+ 2,0	+ 2,9
33	− 4,5	− 3,0	+ 2,0	+ 2,9
34	− 4,4	− 3,0	+ 2,0	+ 2,8
35	− 4,3	− 3,0	+ 2,0	+ 2,8
36	− 4,2	− 3,0	+ 2,0	+ 2,8
37	− 4,1	− 3,0	+ 2,0	+ 2,7
38	− 4,1	− 3,0	+ 2,0	+ 2,7
39	− 4,0	− 3,0	+ 2,0	+ 2,6
40	− 3,9	− 3,0	+ 2,0	+ 2,6
41	− 3,8	− 2,9	+ 1,9	+ 2,5
42	− 3,7	− 2,8	+ 1,8	+ 2,5
43	− 3,7	− 2,7	+ 1,7	+ 2,4
44	− 3,6	− 2,6	+ 1,6	+ 2,4
45	− 3,5	− 2,5	+ 1,5	+ 2,4
46	− 3,2	−2,4	+ 1,4	+ 2,3
47	− 3,3	− 2,3	+ 1,3	+ 2,3
48	− 3,3	− 2,2	+ 1,2	+ 2,2
49	− 3,2	− 2,1	+ 1,1	+ 2,2
50	− 3,1	− 2,0	+ 1,0	+ 2,2
51	− 3,0	− 2,0	+ 1,0	+ 2,1
52	− 2,9	− 2,0	+ 1,0	+ 2,1
53	− 2,9	− 2,0	+ 1,0	+ 2,0
54	− 2,8	− 2,0	+ 1,0	+ 2,0
55	− 2,7	− 2,0	+ 1,0	+ 1,9
56	− 2,6	− 2,0	+ 1,0	+ 1,9
57	− 2,5	− 2,0	+ 1,0	+ 1,8
58	− 2,5	− 2,0	+ 1,0	+ 1,8
59	− 2,4	− 2,0	+ 1,0	+ 1,8
60	− 2,3	− 2,0	+ 1,0	+ 1,7



26. ábra: *N*-típusú *Schmidt*-kalapács, vízszintes ütésirányhoz tartozó japán nyomószilárdság becslő összefüggései (*Proceq SA* 2003). „Early Strength" = nagy kezdő szilárdságú portlandcement-beton, „Blast Furnace" = kohósalakcement kötőanyagú beton, „Average Curve" = a három japán becslő görbe átlaggörbéje.

Évszázadunk elején jelentkezett a *Proceq SA* a mechanikus rendszerű *Schmidt*-kalapács továbbfejlesztett változatával, a *Digi-Schmidt 2000* elnevezésű műszerrel, amely két összetartozó, egységként kalibrált részből, a tulajdonképpeni *Schmidt*-kalapácsból (mérőműszer) és a kijelző készülékből áll. A vizsgálat során a Schmidt-kalapács visszapattanó ütőkosának úthosszát a mérőműszerbe beépített szenzor érzékeli, és elektromos jelként, kábelen keresztül a kijelző készülékhez továbbítja. Az elektronika által átalakított jel a kijelző készülék képernyőjén digitálisan megjeleníti a visszapattanási értéket és adott esetben a hozzátartozó átlagos betonnyomószilárdságot. A *Digi-Schmidt 2000* műszernek a hagyományos, analóg leolvasású *Schmidt*-kalapácshoz hasonlóan alapvetően két típusa van, a 2,207 N·m ütőenergiájú *ND*-típus és a 0,735 N·m ütőenergiájú *LD*-típus. A vizsgálat megkezdése előtt a kijelző készüléken (a műszer szoftver verziójától függően):

- be lehet állítani a vizsgálati hely megnevezését (például: épület neve, emelet, szerkezeti elem);
- be lehet állítani az ütésirányt;
- ki lehet választani, hogy a készülék a mért visszapattanási értékek középértékeként az átlagot vagy az EN 12504-2:2012 szabvány 7. fejezetében előírt mediánt számítsa ki. Az átlag kiszámításának beállítása esetén lehetőség adódik egyes vizsgálati eredmények (kijelölt eredmény, legkisebb és legnagyobb eredmény, a középértéktől legalább 20 %-kal eltérő eredmények) figyelmen kívül hagyására (eltávolítására, törlésére);
- az átlagos nyomószilárdságra való átszámításhoz többféle lehetőség közül lehet a becslő összefüggést kiválasztani: a készülék ne végezzen átszámítást, a készülék a két beprogramozott *Proceq*-görbe (7 napos korú beton és 14-56 napos korú, nem karbonátosodott beton) valamelyike alapján, a beprogramozott négy japán becslő

összefüggés alapján (csak az *ND*-típus esetén), a készülék a vizsgáló személy öt saját összefüggése közül valamelyikkel számoljon;
- be lehet állítani, hogy a két *Proceq*-görbe esetén a kiszámított nyomószilárdság milyen alakú és méretű próbatestre vonatkozzon;
- be lehet állítani, hogy a készülék a vizsgálati eredményt a beton kora vagy karbonátosodási mélysége szerint korrigálja;
- meg lehet adni a figyelembe veendő visszapattanási értékek tartományát (alsó és felső határérték);
- ki lehet választani a képernyőn megjelenő szövegek nyelvét.

A *Digi-Schmidt 2000* műszerbe beépített óra a vizsgálati eredmények dátum és időpont szerinti mentését teszi lehetővé. A műszert számítógéphez lehet csatlakoztatni, és a vizsgálati eredményeket ki lehet nyomtatni.

A *Schmidt*-kalapácsok „*SilverSchmidt*” néven forgalmazott új generációját a *Proceq SA* 2006-2010 évek között fejlesztette ki. A *SilverSchmidt*-kalapácsot két változatban gyártják. Az *N*-típusú *SilverSchmidt*-kalapács ütőenergiája 2,207 N·m, az *L*-típusé 0,735 N·m. Az *N*-típusú *SilverSchmidt*-kalapács legalább 100 mm vastag és tömör szövetszerkezetű betonok esetén, az *L*-típusú a kevésbé tömör, 100 mm-nél vékonyabb betonok esetén használható.

A *SilverSchmidt*-kalapács beépített elektronikával, digitális kijelzővel, menüstruktúrával, USB-csatlakozóval rendelkezik (*27. ábra*). A hagyományos *Schmidt*-kalapács mérési eredményét különféle súrlódások befolyásolják, amelyek a *SilverSchmidt*-kalapács esetén nem lépnek fel, mert a *SilverSchmidt*-kalapács *Q* visszapattanási értékét – ellentétben a hagyományos *Schmidt*-kalapács *R* visszapattanási értékével – nem az ütőkos visszapattanáskor megtett útja függvényében, hanem az $M_{ütőkos}$ tömegű ütőkos visszapattanási ($v_{visszapattanás}$) és ütési sebessége ($v_{ütés}$) négyzetének az arányában (Ψ_Q) fejezik ki (*Brandestini* 2010):

$$\Psi_Q = \frac{M_{ütőkos} \cdot v_{visszapattanás}{}^2/2}{M_{ütőkos} \cdot v_{ütés}{}^2/2} = \frac{v_{visszapattanás}{}^2}{v_{ütés}{}^2}$$

A sebesség meghatározása optikai mérőtranszformátorral történik. A fényáramot az ütőkos felületén lévő barázdák modulálják és továbbítják a fotodiódára. Az így meghatározott ütési-visszapattanási periódusok időtartama az ütési és visszapattanási sebességek kifejezője. A sebességmérés eredményét a nehézségi erő gyakorlatilag nem befolyásolja. A *SilverSchmidt*-kalapács ütőkosa kisebb tömegű, így gyorsabban is teszi meg az oda-vissza utat, az ütőcsapja is könnyebb, mint a hagyományos *Schmidt*-kalapácsé, ezért és a megváltozott mérési technika folytán a *SilverSchmidt*-kalapáccsal mért *Q* (Quotiens = hányados) visszapattanási érték nagyobb, mint a visszapattanási úthosszat mérő hagyományos *Schmidt*-kalapácsok *R* visszapattanási értéke (*Marco Brandestini* 2010). A kétféle visszapattanási érték a $Q \sim 1{,}33 \cdot R$, illetve $R \sim 0{,}75 \cdot Q$ összefüggéssel közelítőleg átszámítható egymásba (a *Proceq SA* 2012. júliusi közlése, a korábban közzétett átszámítási görbét visszavonták), de a *SilverSchmidt*-kalapácsnak is van közvetlen nyomószilárdság becslő görbéje (*29. ábra*).

A *29. ábra* nyomószilárdság becslő görbéje a *Q* visszapattanási érték függvényében 90 %-os valószínűséggel adja meg a beton várható átlagos nyomószilárdságát.

A *Proceq SA* által kifejlesztett *Hammerlink* szoftver adatmentést, adatrendezést, statisztikai egyenletesség vizsgálatot, átlag vagy medián számítást, karbonátosodási korrekciót, a nyomószilárdság számításához próbatest-alak és értékelési módszer választást, eredmény-nyomtatást stb. tesz lehetővé. Az ütésirányt nem kell, és nem lehet beállítani.

Bár a *SilverSchmidt*-kalapács minden egyes ütés esetén ellenőrzi az ütési energiát, a műszert a hitelesítő üllőn tíz ütéssel rendszeresen kalibrálni kell.

A mért Q visszapattanási értékeket a karbonátosodás mértékének függvényében csökkenteni (*28. ábra*), illetve a műszerrel csökkentetni kell, majd az így csökkentett visszapattanási érték függvényében kell a megfelelő becslő függvénnyel (*29. ábra*) a valószínű nyomószilárdságot meghatározni, illetve a műszerrel meghatároztatni.

Egyebekben lényegében ugyanazok a rendszabályok és ajánlások érvényesek a *SilverSchmidt*-kalapácsra, mint a hagyományos *Schmidt*-kalapács típusokra.

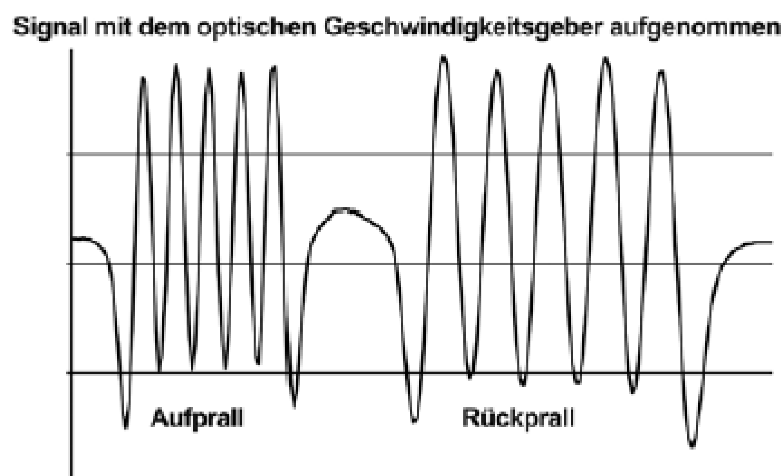
Az MSZ EN 12504-2:2013 szabványban csak a *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes vizsgálat végzését írják le, a visszapattanási értékek értékelésével nem foglalkoznak, az MSZ EN 12504-2:2013 szabvány szerinti vizsgálati eredmények értékelést az MSZ EN 13791:2007 szabványban tárgyalják.

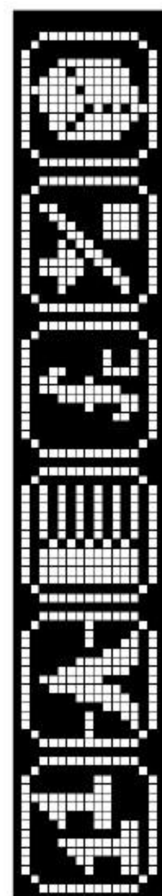
Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.3.3 szakasza szerint a *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes vizsgálat becslő alapösszefüggésének alakja:

$f_R = 1{,}25 \cdot R - 23{,}0$ ha $20 \leq R \leq 24$ és
$f_R = 1{,}73 \cdot R - 34{,}5$ ha $24 \leq R \leq 50$

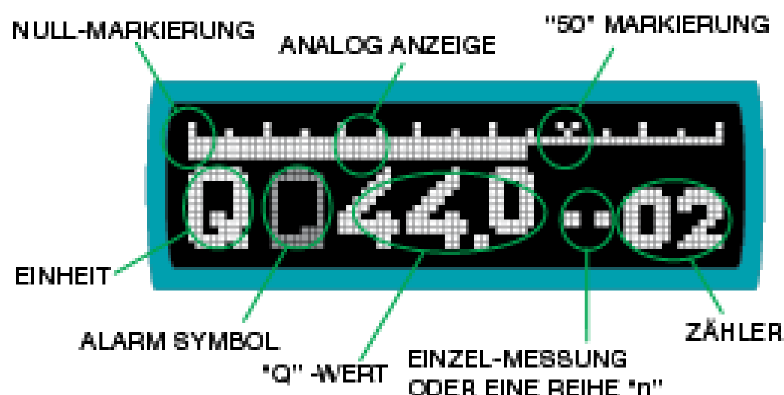
ahol:

f_R a nyomószilárdság alapértéke Schmidt-kalapácsos vizsgálat esetén, N/mm^2
R az MSZ EN 12504-2:2013 szabvány szerinti visszapattanási érték

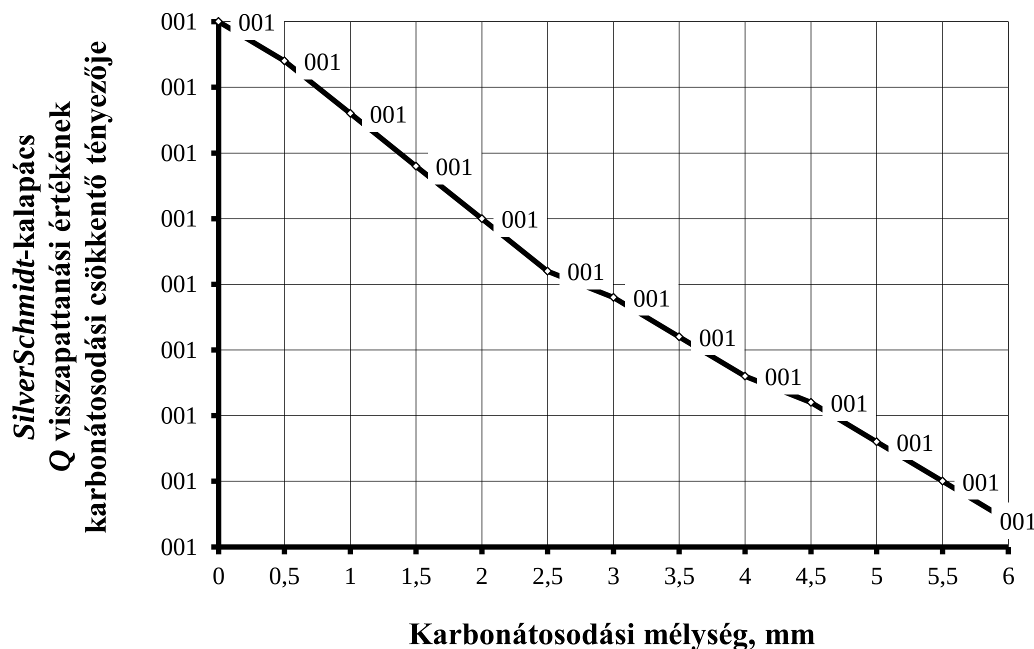




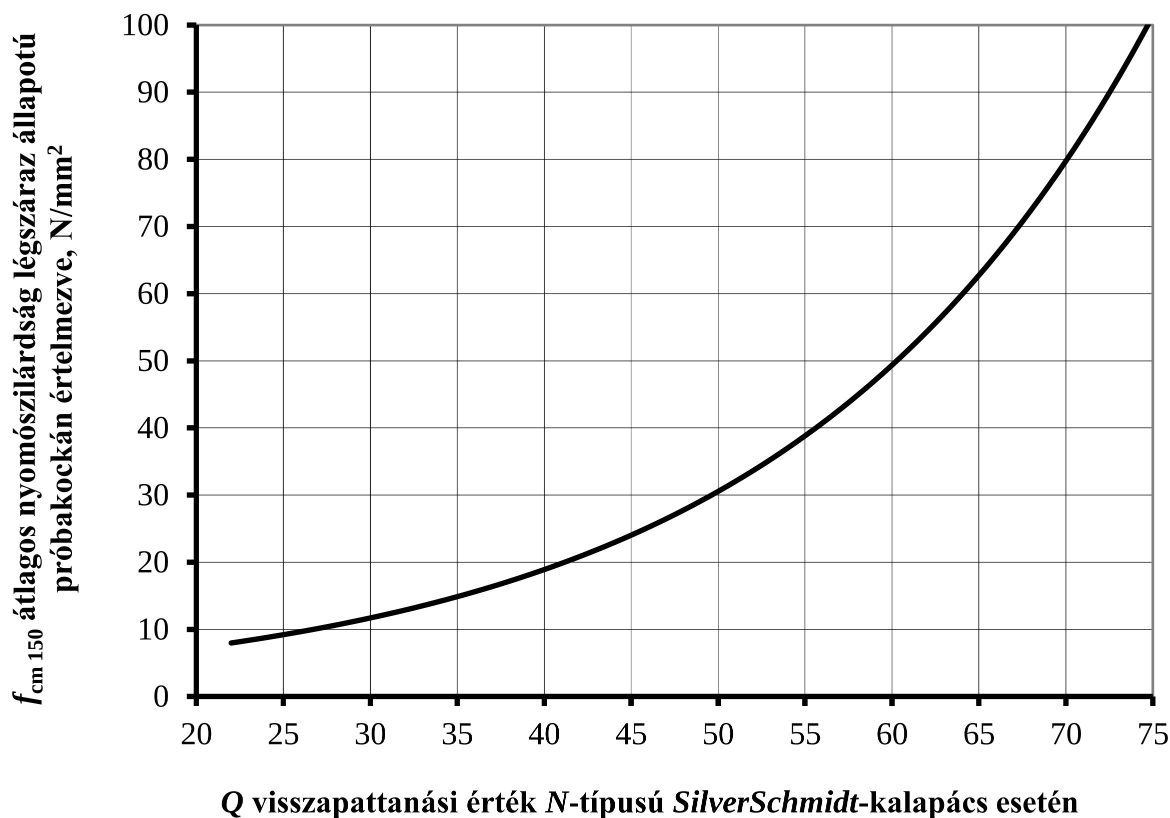




27. ábra: *SilverSchmidt*. A legújabb *Schmidt*-kalapács modell (*Proceq SA* 2011 és http://www.suspadsi.de/fileadmin/media/download/de/suspa/geraete/Proceq_Brochure_Silver Schmidt_D.pdf)



28. ábra: Karbonátosodási korrekciós diagram a *SilverSchmidt*-kalapács *Q* visszapattanási értékének csökkentésére japán kísérletek alapján. A diagramban szereplő karbonátosodási csökkentő tényező mértéke még nem vált általános gyakorlattá (*Proceq SA* 2007).



29. ábra: Nyomószilárdság becslő görbe (10 %-os kvantilis) az *N*-típusú *SilverSchmidt*-kalapácshoz (*Proceq SA* 2007)

A *Proceq SA* nyomószilárdság becslő összefüggéséből leolvasott érték a légszáraz állapotú 150 mm élhosszúságú próbakocka vizsgálat idején érvényes egyedi nyomószilárdsága ($f_{ci,cube,H,t}$), amelyet a $0{,}75 \cdot f_{ci,cube,H,t} = f_{ci,cyl,t}$ összefüggéssel (*31. ábra*) kell átszámítani a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahengeren értelmezett, a vizsgálat idején fennálló egyedi nyomószilárdságra, amely utóbbiak átlagából ($f_{cm,cyl,t}$) és szórásából az alulmaradási tényezővel az építmény-beton jellemző (karakterisztikus) értékét meg lehet határozni. Alulmaradási tényezőként az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-tényezőt (*31. táblázat*) vagy az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázatának „»V« ismeretlen”sora szerinti alulmaradási tényezőt (*37. táblázat*) alkalmazzuk.

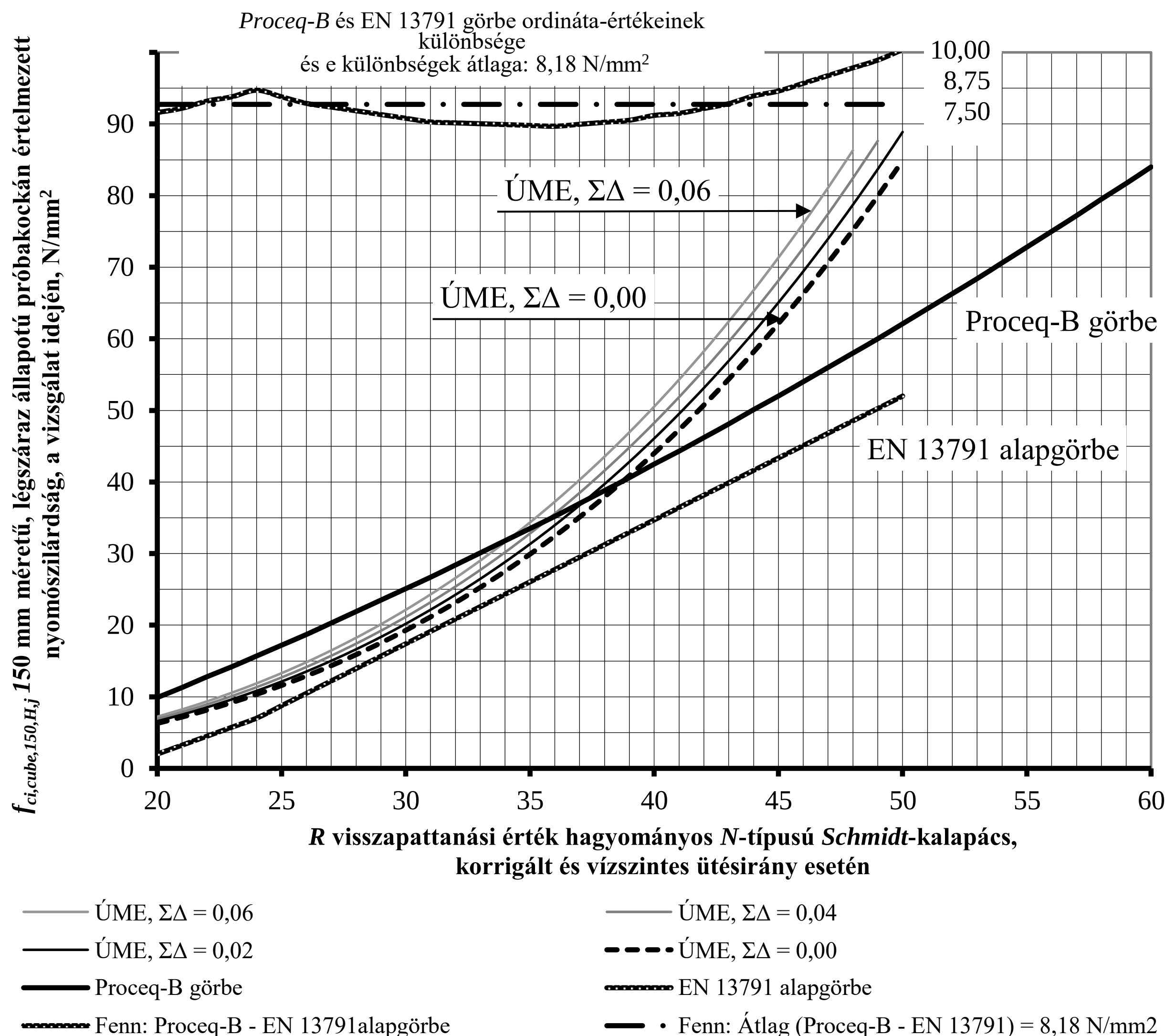
Az építmény-beton nyomószilárdságának meghatározásával *könyvünk 12.5. fejezetében* részletesen foglalkozunk, így azzal az esettel is, amikor a roncsolásmentes vizsgálattal egyidőben és azonos vizsgálati helyeken kifúrt magminták is rendelkezésre állnak, és a nyomószilárdság meghatározásához az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8. fejezete szerint a becslő összefüggést ezen magminták nyomószilárdsága alapján vagy meg kell szerkeszteni (szabvány 8.2. szakasza, „1. lehetőség”) vagy a szabványbeli becslő alapgörbe transzformálásával kell előállítani (szabvány 8.3. szakasza, „2. lehetőség”).

A *30. ábra* szerint az MSZ EN 13791:2007 szabvány „2. lehetőség” szerinti becslő alapgörbéje (a szabvány 2. ábrája) és a *Proceq-B* görbe hagyományos *N*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén gyakorlatilag közel párhuzamosan fut, az MSZ EN 13791:2007 szabvány becslő alapgörbéje átlag 8,18 N/mm^2 értékkel fekszik a *Proceq-B* görbe alatt. Ha a becslő alapgörbét a közvetett vizsgálat eredményéhez tartozó magmintaszilárdság (f_{is}) és a becslő alapgörbéből leolvasott nyomószilárdság értéke (f_R) közötti különbségek ($\delta f = f_{is} - f_R$) átlagával ($\delta f_{m(n)}$) toljuk felfele, és ennek értéke történetesen $\delta f_{m(n)} = 8{,}18$ N/mm^2, akkor a *Proceq-B* görbét trendvonalszerűen, jól megközelítő egyenest kapunk, amely 50 %-os kvantilis egyenes. Ha az eltolás mértéke $\delta f_{m(n)} <$ 8,18 N/mm^2, akkor az MSZ EN 13791:2007 szabvány szerinti eltolt becslő alapgörbe többé-kevésbé a *Proceq-B* görbe alatt, ha $\delta f_{m(n)} > 8{,}18$ N/mm^2, akkor a *Proceq-B* görbe felett fog futni.

A *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálatot hazánkban az európai szabványok bevezetését megelőzően a visszavont MSZ 4715:1961 és MSZ 4715-5:1972 szabvány, MI-07-3318:1986 közlekedésügyi ágazati műszaki irányelv, MI 15011:1988 műszaki irányelv, valamint a ma is érvényes, az utóbbit felváltó ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás szabályozta, illetve szabályozza.

A visszavont MSZ 4715:1961 szabványban a vegyesen tárolt, 200 mm élhosszúságú próbakockákon értelmezett nyomószilárdságot az *N*-típusú *Schmidt*-kalapáccsal mért visszapattanási érték függvényében diagram formájában adták meg. A szabvány szerint a visszapattanási érték ütésirány szerinti korrekcióját érdekes, részletes ábra alapján végezték. Az ugyancsak visszavont MSZ 4715-5:1972 szabványban a vegyesen tárolt, 200 mm élhosszúságú próbakockákon értelmezett nyomószilárdságot a visszapattanási érték függvényében táblázatokban adták meg *N*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén természetes érlelésű, homokos kavics adalékanyagú betonokra, *M*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén zúzottkő adalékanyagú útbetonokra.

A visszavont MI-07-3318:1986 közlekedési ágazati műszaki irányelv szerint a nyomószilárdságot a beton főbb tulajdonságaitól és a műszerállandóktól függő tényező és a korrigált visszapattanási érték szorzataként lehetett kiszámítani *N*-, *L*- és *M*-típusú *Schmidt*-kalapács használata esetén. (Ezt a módszert kívánták alkalmazni 1986-ban az MSZ 4715-5:1972 szabvány módosítása során is, de a kézirat alakjában fennmaradt szabványtervezet érvényre már nem lépett.)



30. ábra: Hagyományos *N*-típusú *Schmidt*-kalapácsos nyomószilárdság becslő összefüggések görbéinek összehasonlítása. ÚME = ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás

A visszavont MI 15011:1988 műszaki irányelv szerint a nyomószilárdság természetes alapú logaritmusát a visszapattanási érték természetes alapú logaritmusának függvényében lehetett kiszámítani. A kettős természetes alapú logaritmus beosztású koordinátarendszerben az alapösszefüggés alakja másodfokú parabola volt, amelynek a – az MSZ EN 13791:2007 szabványban foglaltakhoz hasonló – függőleges eltolást meghatározó tiszta tagja a szerkezetből kivett próbatestek vegyesen tárolt 200 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdságára átszámított nyomószilárdságának képezte a függvényét.

Ma a *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálatra vonatkozólag az említett ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás, az MSZ EN 12504-2:2013 és az MSZ EN 13791:2007 európai szabvány és a külföldi szabványok közül például (csak az általunk ismerteket említjük) a DIN 1048-2:1991, a DIN 1048-4:1991, ASTM C 805:2002 szabvány van érvényben. E könyv *12.5. fejezetében* szó esik arról, hogy az európai szabvány DIN EN 13791:2008 jelű német verziója kötelező nemzeti függeléket tartalmaz (NA = Nationaler Anhang), amelyben az építmények, illetve azok szerkezeti elemei betonja nyomószilárdságának értékelésének nemzeti alkalmazási előírásait tárgyalják.

Az ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás szerint a vizsgálati hely mérete mintegy 0,01 m^2 (100 mm x 100 mm), és azon az egyedi visszapattanás mérések száma legalább 10, a pontok egymástól való távolsága mintegy 20 mm. A vizsgálati hely mérési eredményét az

egyedi visszapattanási értékek átlaga adja ($\overline{R}$). Azokat az egyedi visszapattanási értékeket, amelyek a 10 visszapattanás átlagától ± 5 értéknél nagyobb mértékben eltérnek, az értékelésből ki kell zárni és helyettük újabb ütést kell végezni. A vizsgálati helyek száma tételenként legalább 12-18 legyen.

Az MSZ EN 12504-2:2013 szabvány szerint a vizsgálati hely mérete mintegy 300·300 mm legyen, amelyen legalább 9 egyedi visszapattanás mérést kell végezni. A szabvány 7. fejezete szerint a vizsgálati helyen mért visszapattanási értékeknek nem az átlagát, hanem a mediánját kell kiszámítani, és ez a vizsgálati hely vizsgálati eredménye. Az egyedi vizsgálati helyen belül a visszapattanás mérési helyek egymástól való távolsága és távolsága a vizsgált szerkezet éleitől legalább 25 mm legyen. Ha az egyedi visszapattanási értékek legalább 20 %-a a mediántól több mint 6 visszapattanási értékkel eltér, akkor a vizsgálati helyen végzett vizsgálat eredményét nem szabad figyelembe venni

Említettük, hogy a helyesen beállított hagyományos, *N*-, *L*-típusú és digitális *Schmidt*-kalapáccsal mért visszapattanási értékek átlagát, illetve mediánját ($\overline{R}$) a kalibráló üllőn mért visszapattanási értékek átlagának függvényében és a vízszintestől eltérő ütésiránytól (*26. táblázat*), valamint a karbonátosodás mélységétől függően (*24. ábra*) korrigálni kell.

Az MSZ EN 12504-2:2013 szabványban ütésirány szerinti korrekciós összeadandók nem szerepelnek.

Az ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás szerint – ha a vizsgált beton kora több mint 90 nap –, akkor a 90 napos, 1 éves, 2 éves, 3 éves korú betonok karbonátosodási korrekciós tényezője rendre 1,00; 0,75; 0,67; 0,6. Ezek helyett a korrekciós tényezők helyett a *Proceq SA* (2003) által a hagyományos *N*-, *L*-típusú és digitális *Schmidt*-kalapács visszapattanási értékének csökkentésére megadott diagram (*24. ábra*) használatát javasoljuk, mert az a szükséges korrekció mértékét nem a beton kora, hanem a karbonátosodás mélysége függvényében adja meg. Nem szabad szem elől téveszteni, hogy a karbonátosodás miatt korrigált visszapattanási érték is a beton vizsgálati korában érvényes.

A karbonátosodás miatt is korrigált visszapattanási értékből (*R*) az ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás szerinti szilárdság becslő összefüggés felhasználásával is meg lehet a beépített beton pillanatnyi nyomószilárdságát becsülni.

Az ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírásban szereplő *Borján*-féle (1981) *Schmidt*-kalapácsos nyomószilárdság becslő összefüggés a meghatározása idején, 1982 előtt érvényben volt szabványoknak (MSZ 4715-4:1972, MSZ 4719:1977, MSZ 4720-2:1980) megfelelő 200 mm élhosszúságú és vegyesen tárolt próbakockák nyomószilárdságára ($f_{ci,cube,200,H,t}$) vonatkozik:

$$\lg f_{ci,cube,200,H,t} = -2{,}159 + \Sigma\Delta + 1{,}805 \cdot \lg R + 0{,}345 \cdot (\lg R)^2$$

ahol:

$f_{ci,cube,200,H,t}$ a 200 mm élhosszúságú és vegyesen tárolt próbakockán értelmezett nyomószilárdság tapasztalati értéke, N/mm^2 mértékegységben. A „t” indexszel azt hangsúlyozzuk, hogy nem 28 napos, hanem „t” korú beton nyomószilárdságáról van szó

R a vizsgálati helyhez tartozó átlagos, a kalibrálási hibával, ütésirány és karbonátosodás mélység szerint korrigált visszapattanási érték *N*-típusú *Schmidt*-kalapács esetén

ΣΔ a beton összetételétől és állapotától függő segédváltozó, amelyet legfeljebb három különböző Δ összeadandó felhasználásával szabad meghatározni, és amely 0,00-0,19 közötti értéket vehet fel. Ha ΣΔ = 0,0, akkor annak a valószínűsége, hogy a tényleges $f_{ci,cube,200,H,t}$

nyomószilárdság a visszapattanásokból számított, becsült $f_{ci,cube,200,H,t,test}$ tapasztalati nyomószilárdságnál nagyobb, 95 % (*Borján* 1981). Ha $\Sigma\Delta \rightarrow$ 0,19, akkor ez a valószínűség egyre inkább csökken, a becsült nyomószilárdság pedig rohamosan növekszik. A $\Sigma\Delta$ segédváltozó értékének felvétele nagy felelősséggel jár, $\Sigma\Delta$ = 0,06-nál nagyobb érték alkalmazása $R > 35$ korrigált visszapattanási érték felett semmi esetre sem javasolható, mert a *30. ábra* szerint valószínűtlenül nagy nyomószilárdságokat eredményez.

A $\lg f_{ci,cube,200,H,t}$ értéket minden vizsgálati helyre ki kell számítani, és ebből az $f_{ci,cube,200,H.t} = 10^{\lg f_{ci,cube,200,H,t}}$ összefüggéssel adódik a vizsgálati helyen lévő beton becsült, 200 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockán értelmezett, mai, tapasztalati nyomószilárdsága ($f_{ci,cube,200,H,t}$). Az $f_{ci,cube,200,H,t}$ értéknek a *31. ábra* szerinti átszámításával meghatározható a vizsgálati helyen lévő beton, 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett, mai, becsült, tapasztalati nyomószilárdsága: $f_{ci,cyl,t} = 0{,}76 \cdot f_{ci,cube,200,H,t}$. Az együtt értékelendő vizsgálati helyek $f_{ci,cyl,t}$ nyomószilárdságainak átlaga ($f_{cm,cyl,t}$) a szerkezeti elem vagy része betonjának szabványos (MSZ EN 206-1:2002, MSZ 4798-1:2004) próbahengeren értelmezett mai, becsült, tapasztalati átlagos nyomószilárdsága.

Az ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás nem zárkózik el attól, hogy a *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálat végzője kutatásai eredménye alapján – jól körülhatárolt esetre – saját nyomószilárdság becslő összefüggést írjon fel és alkalmazzon. Ami ennél is fontosabb, hogy az útügyi műszaki előírás olyan nyomószilárdság becslő összefüggés alkalmazására is lehetőséget ad, amelynek alakja a fenti összefüggésből $a_N = -2{,}159 + \Sigma\Delta$ helyettesítéssel adódik, azaz $\lg f_{ci,cube,200,H,t} = a_N + 1{,}805 \cdot \lg R + 0{,}345 \cdot (\lg R)^2$, ahol az a_N összeadandót tíz darab 200 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakocka roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálata összetartozó eredményeiből kell regresszió számítással meghatározni. Ez a módszer is megtalálható *Borján József* (1981) könyvében, és elviekben az MI 15011:1988 műszaki irányelv M1. mellékletének M1.10.3.1. szakaszában, valamint a DIN 1048-4:1991 német szabványban is, így a függvény transzformációs eljárás (becslő alap-összefüggés nyújtása vagy összenyomása és önmagával párhuzamos eltolása) már nem volt ismeretlen az MSZ EN 13791:2007 szabvány bevezetésekor, amely szerint a roncsolásmentes vizsgálat eredményét a szerkezetből fúrt magminta nyomószilárdságának a felhasználásával kell értékelni (lásd e könyv *12.5. fejezetét*).

Összegezve: A *Schmidt*-kalapáccsal fúrt magminták alkalmazása nélkül is meg lehet becsülni a betonnak a vizsgálat idején meglévő nyomószilárdságát, de abból a beton nyomószilárdsági osztályára, vagy készítéskori állapotára következtetni nem szabad.

A *Schmidt*-kalapácsos visszapattanási értékből a nyomószilárdság becslő összefüggésen leolvasott érték a légszáraz állapotú 150 mm élhosszúságú próbakockának a vizsgálat idején érvényes egyedi nyomószilárdsága ($f_{ci,cube,H,t}$), amelyet a $0{,}75 \cdot f_{ci,cube,H,t} = f_{ci,cyl,t}$ összefüggéssel (*31. ábra*) kell átszámítani a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahengeren értelmezett, a vizsgálat idején fennálló egyedi nyomószilárdságra, amely utóbbiak átlagából ($f_{cm,cyl,t}$) és szórásából az alulmaradási tényezővel az építmény-beton jellemző (karakterisztikus) értékét meg lehet határozni. Alulmaradási tényezőként az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-tényezőt (*31. táblázat*) vagy az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázatának „»V« ismeretlen”sora szerinti alulmaradási tényezőt (*37. táblázat*), esetleg az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány szerinti $f_{ck} = f_{cm} - 8$ összefüggést alkalmazzuk.

Az építmény-beton nyomószilárdságának meghatározásával *könyvünk 12.5. fejezetében* részletesen foglalkozunk, így azzal az esettel is, amikor a roncsolásmentes vizsgálattal

egyidőben és azonos vizsgálati helyeken kifúrt magminták is rendelkezésre állnak, és a nyomószilárdság meghatározásához az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8. fejezete szerint a becslő összefüggést ezen magminták nyomószilárdsága alapján vagy meg kell szerkeszteni (szabvány 8.2. szakasza, „1. lehetőség”) vagy a szabványbeli becslő alapgörbe transzformálásával kell előállítani (szabvány 8.3. szakasza, „2. lehetőség”).

A szerkezetből kifúrt magminták nyomószilárdságából az építmény vagy annak részei betonjának nyomószilárdsági osztályát nem szükséges kiszámítani. A magminták nyomószilárdsága a betonnak a vizsgálat idején fennálló szilárdsági állapotát kifejező adat, amelyből a beton korábbi nyomószilárdságára következtetni nem szabad. A roncsolásmentes vizsgálattal becsült betonnyomószilárdságra ez a megállapítás fokozottan érvényes. Véleményünket alátámasztja a DIN 1048-2:1991 szabvány 5.3.1. szakasza (1) bekezdésének rendelkezése és a német közlekedési minisztérium (Bundesministerium für Verkehr) 2011. évi irányelve is, amely szerint a fúrt magmintákon és a *Schmidt*-kalapácsos vizsgálattal meghatározott nyomószilárdságok az építmény betonjának csak a vizsgálat idején fennálló nyomószilárdsága meghatározására alkalmasak, de más időpontra vonatkozó nyomószilárdság becslésére általában alkalmatlanok.

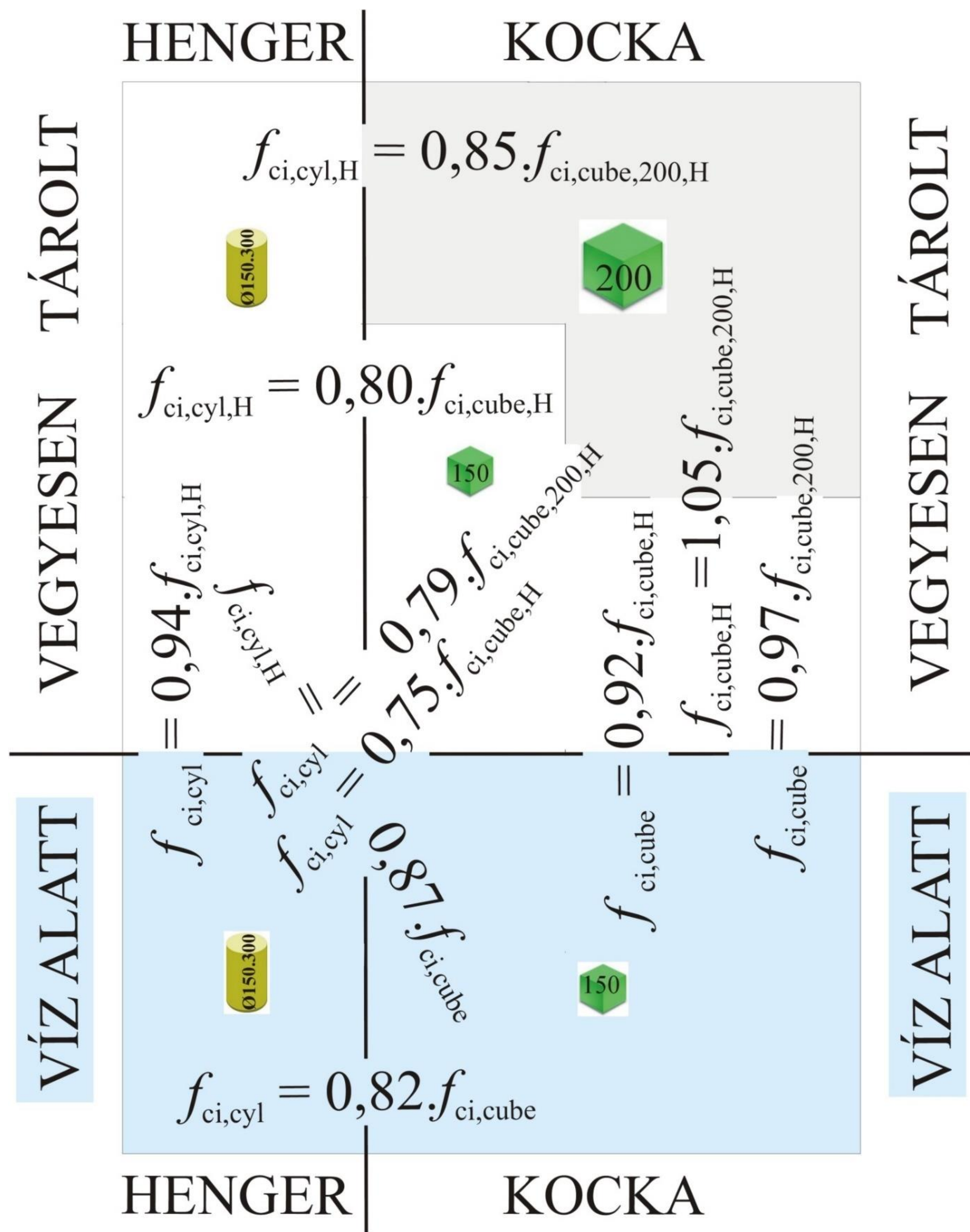
12.3. Egyes és átlagos nyomószilárdságok átszámítása

Minthogy szabványosítási időszakonként változtak a szabványos nyomószilárdság meghatározásának feltételei, e feltételek változása magával hozta az egy és ugyanazon beton átlagos nyomószilárdságából eredeztetett számértékeknek az időszakonkénti változását is. A különböző feltételekhez tartozó egyes, illetve átlagos nyomószilárdságokat a C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag a *31. ábrabeli* összefüggések segítségével feleltettük meg egymással. Az összefüggések forrása – értelemszerűen alkalmazva az átlagos nyomószilárdságokra – az MSZ 4798-1:2004 szabvány, illetve annak hátterét képező irodalom (*Hilsdorf* 1992).

A legfeljebb a C50/60 nyomószilárdsági osztályú betonok közönséges betonok, a C55/67 és e feletti nyomószilárdsági osztályú betonok (C100/115 nyomószilárdsági osztályig) nagyszilárdságú közönséges betonok. A gyakorlatban nagyszilárdságúnak nevezik a betont, ha a nyomószilárdsága 60 – 150 N/mm^2 között van. Az ebben a fejezetben bemutatott összefüggések a nagyszilárdságú közönséges betonok esetén nem érvényesek (*Hilsdorf* 1992).

Hangsúlyozni kell, hogy a *31. ábra* szerinti összefüggéseket a kutatók összehasonlító kísérletek eredményei alapján írták fel, következésképpen azok fizikai tartalmat fejeznek ki, ezért ezek az összefüggések kizárólag az R_i, illetve R_m vagy az f_{ci}, illetve f_{cm} jelű egyedi, illetve átlagos nyomószilárdságok kapcsolatának kifejezésére alkalmasak, és teljesen alkalmatlanok a nyomószilárdságok jellemző (karakterisztikus) értékének, illetve a nyomószilárdsági osztályoknak az átszámítására, hiszen az átlagos nyomószilárdságok viszonyát az alulmaradási tágasság ($t_n \cdot s$, illetve $\lambda_n \cdot s$) eltorzítja. Magyarán, a *31. ábra* összefüggéseibe R_m helyett R_k-t, vagy f_{cm} helyett f_{ck}-t írni nem szabad, mert akkor ezek az összefüggések elvesztik érvényüket.

A *31. ábra* összefüggései sablonban készült, közönséges beton próbatestek nyomószilárdságának átszámítására alkalmazhatók – C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag –, és nem érvényesek a beépített betonból kifúrt magminták esetén, és a szálerősítésű betonok esetén sem. Ezekben az összefüggésekben az idő-tényező sem szerepel. Ha különböző korú próbatestek nyomószilárdságát akarjuk összehasonlítani, akkor figyelembe kell venni a próbatestek eltérő hidratációs fokát is, amit a próbatestek korán kívül az eltelt időszak hőmérsékleti viszonyai is jelentősen befolyásolnak.



31. ábra: Összefüggések különböző feltételekhez tartozó egyes, illetve átlagos nyomószilárdságok között C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag

12.4. NYOMÓSZILÁRDSÁG JELLEMZŐ (KARAKTERISZTIKUS) ÉRTÉKE

12.4.1. Általános ismeretek

A beton nyomószilárdságát 1977 óta nem az átlagértével, hanem jellemző értékével (karakterisztikus értékével, küszöb szilárdságával) fejezzük ki (MSZ 4719:1977, MSZ 4719:1982, MSZ 4798-1:2004).

A beton nyomószilárdság jellemző (karakterisztikus) értékének MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti szabványos jele a *28. táblázatban* található.

28. táblázat: A nyomószilárdság jellemző értékének jele az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint

Próbatest mérete és alakja	A nyomószilárdság 28 napos korban	
	előírt jellemző értéke	tapasztalati jellemző értéke
150 mm átmérőjű, 300 mm magas próbahenger	$f_{ck,cyl}$	$f_{ck,cyl,test}$
150 mm élhosszúságú próbakocka	$f_{ck,cube}$, $f_{ck,cube,H}$, $f_{ck,cube,r}$	$f_{ck,cube,test}$

A nyomószilárdság megfelelőségi feltétele teljesülésének elfogadása vagy elvetése a nyomószilárdság vizsgálati módszernek és a vizsgálati eredmények értékelésének is függvénye, ezért érdemes bemutatni az elfogadási valószínűség és az alulmaradási tényező szerepét a vizsgálati eredmények értékelésében, és jelentőségét a megfelelőség igazolási eljárásban.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány 3.1. táblázata szerint a betonszerkezetek tervezése során a nyomószilárdság $f_{cm,cyl}$ átlagértéke a nyomószilárdság $f_{ck,cyl}$ jellemző (karakterisztikus) értékéből a következő összefüggéssel adódik:

$f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + 8$ [N/mm^2]

Ez az összefüggés 28 napos korú, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas beton próbahengerek esetén érvényes. A betontechnológia a beton nyomószilárdságának megfelelőségét általában 28 napos korú, vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockákkal ellenőrzi.

Schell et al. (2010) szerint C50/60 nyomószilárdsági osztályig:

$f_{c,cube}/f_{c,cyl}$ = 1/0,82 a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm élhosszúságú közönséges beton próbakocka és az ugyanígy tárolt 150 mm átmérőjű és 300 mm hosszúságú próbahenger nyomószilárdságának hányadosa, és

$f_{c,cube}/f_{c,cube,H}$ = 0,92 a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt és a vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú közönséges beton próbakocka nyomószilárdságának hányadosa,

akkor a vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú közönséges beton próbakocka nyomószilárdságának ($f_{c,cube,H}$) és a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas közönséges beton próbahenger nyomószilárdságának ($f_{c,cyl}$) kapcsolata (lásd a *31. ábrát* is):

$f_{c,cube,H} = 1/(0,82 \cdot 0,92) \cdot f_{c,cyl} \sim 1,326 \cdot f_{c,cyl}$

amelyet behelyettesítve az (1) jelű összefüggés jobb és bal oldalába:

$f_{cm,cube,H}/1,326 = f_{ck,cube,H}/1,326 + 8$ [N/mm^2], majd ebből az

$f_{cm,cube,H} = f_{ck,cube,H} + 10{,}7$ [N/mm^2]

összefüggésre jutunk, amely a 28 napos korú, vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdsága átlagértékének ($f_{cm,cube,H}$) és karakterisztikus (jellemző) értékének ($f_{ck,cube,H}$) MSZ EN 1992-1-1:2010 szerinti kapcsolatát fejezi ki C50/60 nyomószilárdsági osztályig.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 felfogásában tehát például a C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton 28 napos korú, vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockákon meghatározott átlagos nyomószilárdsága legalább

$f_{cm,cube,test,H} \geq f_{cm,cube,H} = 33 + 10{,}7 = 43{,}7$ [N/mm^2] kell legyen.

Az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány alapján a folyamatosan gyártott C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton 28 napos korú, vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockákon meghatározott átlag nyomószilárdsága a fenti $f_{cm,cube,H}$ = 43,7 N/mm^2 helyett, például csak $f_{cm,cube,H} = f_{ck,cube,H} + 1{,}48 \cdot 1{,}4 \cdot \sigma_{min} = 33 + 1{,}48 \cdot 3/0{,}75 = 38{,}9$ N/mm^2. Bizonyos tartalékot az jelent, hogy a beton nyomószilárdságának tervezési értéke (f_{cd}) és kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas próbahengeren értelmezett, előírt jellemző (karakterisztikus) értéke ($f_{ck,cyl}$) között fennáll az összefüggés: $f_{cd} = f_{ck,cyl} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c$, ahol a parciális tényezős (osztott biztonsági tényezős) méretezési eljárás esetén γ_c = 1,5 a betonszilárdság parciális (biztonsági) tényezője teherbírási határállapotban, és α_{cc} = 0,85 a tartós szilárdság figyelembevételére szolgáló csökkentő tényező. Így például a C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahengeren értelmezett nyomószilárdságának tervezési értéke $f_{cd} = 25 \cdot 0{,}85/1{,}5 = 14{,}2$ N/mm^2.

Ha a statikai méretezés során – és most a környezeti feltételektől vonatkoztassunk el – az adódik, hogy a feladat f_{cd} = 14,2 N/mm^2 tervezési értékű betonnal oldható meg, akkor a tervező az MSZ EN 1992-1-1:2010 alapján C25/30 nyomószilárdságú betont fog kiírni. Ehhez a beton nyomószilárdsági osztályhoz a fentiek szerint vegyesen tárolt próbakockákon értelmezett $f_{cm,cube,H}$ = 43,7 N/mm^2 átlag szilárdság tartozik, a betongyár pedig a tervező által kiírt nyomószilárdsági osztályú betont az MSZ 4798-1:2004 alapján feltehetően a fenti, vegyesen tárolt próbakockán értelmezett $f_{cm,cube,H}$ = 38,9 N/mm^2 átlag nyomószilárdságú betonnal fogja teljesíteni.

Az eltérés a karakterisztikus (jellemző) érték és az átlagérték kapcsolatának az MSZ EN 1992-1-1:2010 és az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint eltérő számításmódjából fakad.

A szilárd betont általában nyomószilárdságával, testsűrűségével, különleges esetben fagyállóságával, korrózió-állóságával, vízzáróságával, kopásállóságával stb. kell jellemezni, és ezek alapján az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint kell osztályba sorolni. A szilárd beton osztályba sorolását az MSZ 4798-1:2004 szabvány 4.3. szakasza, vizsgálatát és követelményeit 5.5. szakasza, megfelelőségének feltételeit és ellenőrzését a szabvány 8. fejezete tárgyalja.

A beton akkor felel meg a nyomószilárdsági követelménynek, ha teljesíti az MSZ 4798-1:2004 szabvány 8.2.1. szakaszában, valamint A és B mellékletében szereplő – és könyvünk értelmezésével kiegészített – nyomószilárdságra és a testsűrűségre vonatkozó feltételeket.

A beton nyomószilárdság vizsgálata és az eredmények értékelése során az egyedi betonösszetételek mintavételi és vizsgálati tervében, valamint a megfelelőségi feltételekben meg kell különböztetni a *kezdeti gyártást és vizsgálatot*, a *folyamatos gyártást és vizsgálatot*, valamint az *azonosító vizsgálatot* (MSZ 4798-1:2004 szabvány 8.2. szakasza). A *folyamatos* és az *azonosító* vizsgálat eredményének értékelését a vizsgálati eredmények átlaga (f_{cm}) és szórása

(s_n) alapján kell végezni. A jellemző (karakterisztikus) értéket (f_{ck}) és a beton nyomószilárdsági osztályát jelentősen befolyásolja az alulmaradási tényező (λ_n) mibenléte (*Kausay* 2006):

$f_{ck} = f_{cm} - \lambda_n \cdot s_n$

12.4.2. Jellemző érték meghatározása a folyamatos gyártás és vizsgálat során

Az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 8.2.1.1. szakasza szerint a beton folyamatos gyártása akkor kezdődik, amikor már legalább 35 egymás utáni, kihagyás nélküli, azonos feltételekkel készített betonra vonatkozó vizsgálati eredményünk van, három hónapnál hosszabb, de legfeljebb12 hónap idő alatt, amelyet az új betonszabványok kezdeti gyártásnak neveznek. Az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 8.2.1.3. szakasza szerint a kezdeti gyártásból meg kell határozni a szórást (σ), amely az elméleti szórás jó közelítését adja, és amely bizonyos feltételek mellett a folyamatos gyártás vizsgálati eredményeinek értékelésénél figyelembe veendő:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(f_{ci} - f_{cm,test}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} f_{ci}^2 - n \cdot f_{cm,test}^2}{n-1}} \qquad \text{ahol: } n \geq 35$$

A továbbiakban figyelembe kell venni a σ szórás legkisebb értékét, amely az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázatának magyar kiegészítése szerint, értelemszerűen a kizsaluzás után vegyesen tárolt próbakockákon értve (magyar követelmény):

- közönséges beton esetén (ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≤ C50/60): 3 N/mm^2;
- nagyszilárdságú beton esetén (ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67): 5 N/mm^2.

Az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 8.2.1. szakasza szerint a folyamatos gyártás eredménye legalább 15 egymás után következő, legfeljebb 12 hónap alatt végzett mintavétel, illetve vizsgálat után értékelhető. A mintákat a termelés során folyamatosan kell venni, de nem gyakrabban, mint 1 minta minden 25 m^3-ből. Folyamatos gyártás során egy minta egy próbatestből áll(hat). A folyamatos gyártás kezdetén, amíg még 15 minta nem áll rendelkezésre, a minták számát a kezdeti gyártás végén vett mintákkal kell kiegészíteni.

A folyamatos gyártás eredményének értékeléséhez meg kell adni a legalább 15 vizsgálati eredményt, a legalább 15 vizsgálati eredmény átlagát, valamint a következő képlettel ki kell számítani a legalább 15 vizsgálati eredmény tapasztalati szórását:

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(f_{ci} - f_{cm,test}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} f_{ci}^2 - n \cdot f_{cm,test}^2}{n-1}} \qquad \text{ahol: } n \geq 15$$

A beton a tervezett nyomószilárdsági osztálynak a folyamatos gyártás során megfelel, ha a következő megfelelőségi feltételek egyidejűleg teljesülnek:

1. feltétel az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázata szerint, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahengerek esetén, valamennyi nyomószilárdsági osztályban:

$f_{cm,test} \geq f_{cm} = f_{ck} + 1{,}48 \cdot \sigma$

ahol σ a kezdeti gyártásból legalább 35 minta vizsgálata alapján meghatározott szórás, és 1,48 az alulmaradási tényező (λ_{15}) értéke (*31. táblázat*).

A figyelembe veendő σ szórás legkisebb értéke az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázatának magyar kiegészítése szerint, értelemszerűen a kizsaluzás után vegyesen tárolt próbakockákon értve (magyar követelmény):

– közönséges beton esetén (ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≤ C50/60): 3 N/mm^2;
– nagyszilárdságú beton esetén (ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67): 5 N/mm^2;
– továbbá valamennyi beton esetére: $0{,}63 \cdot \sigma \leq s_n \leq 1{,}37 \cdot \sigma$,
  azaz a folyamatos gyártásból legalább 15 minta vizsgálata alapján meghatározott s_n tapasztalati szórás a kezdeti gyártásból legalább 35 minta vizsgálata alapján meghatárott σ elméleti szórás 0,63-szorosánál kisebb és 1,37-szorosánál nagyobb nem lehet.

Ez a feltétel a prEN 206:2012 szabványtervezet 20. táblázata szerint folyamatos gyártás esetére a vizsgálati eredmények számának függvényében a *29. táblázat* szerint módosul.

29. táblázat: Az s_n tapasztalati szórás megfelelőségének feltétele folyamatos gyártás során a prEN 206:2012 szabvány 8.2.1.3.2. szakasza (8) bekezdése alatt található 20. táblázat szerint

Vizsgálati eredmények száma	s_n tapasztalati szórás megfelelőségének feltétele
15-19	$0{,}63 \cdot \sigma \leq s_n \leq 1{,}37 \cdot \sigma$
20-24	$0{,}68 \cdot \sigma \leq s_n \leq 1{,}31 \cdot \sigma$
25-29	$0{,}72 \cdot \sigma \leq s_n \leq 1{,}28 \cdot \sigma$
30-34	$0{,}74 \cdot \sigma \leq s_n \leq 1{,}26 \cdot \sigma$
35	$0{,}76 \cdot \sigma \leq s_n \leq 1{,}24 \cdot \sigma$

Az s_n tapasztalati szórás határértékeit a következő összefüggéssel határozták meg:

$$\sqrt{\frac{\chi^2_{0,025;n-1}}{n-1}} \cdot \sigma \leq s_n \leq \sqrt{\frac{\chi^2_{0,975;n-1}}{n-1}} \cdot \sigma$$

ahol $\chi^2_{\alpha;\nu}$ a $\nu = n - 1$ szabadságfokú χ^2-eloszlás α kvantilise.

Matematikai statisztikai táblázatból (például *Mohr* 2008) például $n = 15$ esetén $\chi^2_{0,025;14} = 5{,}6287$, amiből a bal oldali négyzetgyökös kifejezés értéke 0,634, illetve $\chi^2_{0,975;14} = 26{,}1189$, amiből a jobb oldali négyzetgyökös kifejezés értéke 1,366 stb.

Ha a szórásra vonatkozó fenti szabványos feltétel teljesül, akkor a kezdeti gyártás időszakából meghatározott σ (illetve σ_{35}) szórás alkalmazható az s_{15} helyett a folyamatos gyártás időszakában a megfelelőség ellenőrzésére. Ha nem teljesül, akkor a rendelkezésre álló utolsó, legalább 35 minta (folyamatos gyártásról lévén szó, legalább 35 próbatest) vizsgálata alapján új σ szórás értéket kell meghatározni.

Ha a gyártó nem tudja a kezdeti gyártásra vonatkozó szórásának értékét bizonyítani, akkor a kizsaluzás után vegyesen tárolt 150 mm élhosszúságú próbakockákon értve (magyar előírás): $\sigma \geq 6$ N/mm^2 értékkel kell számolni (MSZ 4798-1:2004 szabvány 8.2.1.3. szakasz).

2. feltétel az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázata szerint, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahengerek esetén:

– közönséges beton esetén (ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≤ C50/60): $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$;
– nagyszilárdságú beton esetén (ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67): $f_{ci} \geq 0{,}9 \cdot f_{ck}$.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 és az MSZ EN 206-1:2002 szabványok a beton nyomószilárdságának megfelelőségét a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahengerek nyomószilárdsága alapján ítélik meg, következésképpen a megfelelőségi feltételek is ezekre a szabványos próbahengerekre vonatkoznak. Ezért a 150 mm élhosszúságú, vegyesen (vagy kizsaluzás után végig víz alatt) tárolt próbakockákon mért nyomószilárdsági eredmények értékelése során akkor járunk el helyesen, *ha az egyes mérési eredményeket a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságára átszámítjuk* (*31. ábra*)*, és ezeket az átszámított nyomószilárdságokat értékeljük a megfelelőségi feltételek figyelembevételével.*

Schnell, J. – Loch, M. – Zhang, N. „Umrechnung der Druckfestigkeit von zwischen 1943 und 1972 hergestellten Betonen auf charakterische Werte” (Bauingenieur. Band 85. 2010. Dezember. Pp. 513-518.) tanulmánya értelmében a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakocka és a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságának hányadosa C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag az $f_{c,cube,H}$ összefüggés szerint $f_{c,cube,H}/f_{c,cyl}$ = 1/(0,82·0,92) = 1/0,7544 ~ 1/0,75. Tehát a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockán mért nyomószilárdságot 0,75-dal szorozva jutunk a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságára, mint az a *30. táblázatban* bemutatott számpéldában látható.

A megfelelőség igazolásának további feltétele, hogy a szilárdság vizsgálatára készített, bedolgozott friss beton és megszilárdult beton próbatestek testsűrűsége feleljen meg a könyvünk *10. fejezetében* szereplő követelményeknek.

A folyamatos gyártás nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti értékelésére a *30. táblázat* tartalmaz számpéldát. A számpélda szerinti beton tapasztalati jellemző értéke $f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 1{,}48 \cdot s_{min} = 34{,}9 - 4{,}4 = 30{,}5$ N/mm^2 és nyomószilárdsági osztálya C30/37. Ha ugyanezt a betont az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerint értékelnénk, akkor a beton tapasztalati karakterisztikus (jellemző) értéke $f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 1{,}761 \cdot s_{min} = 34{,}9 - 5{,}3 = 29{,}6$ N/mm^2 és a nyomószilárdsági osztálya C25/30 lenne (*Kausay* 2006).

30. táblázat: Számpélda a folyamatos gyártás vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockái nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek értékelésére az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint

Minta jele (1 minta = 1 próbatest)	Próbakocka, mért nyomószilárdság $f_{ci,cube,H}$	Próbahenger, számított nyomószilárdság $f_{ci,cyl} = 0{,}75 \cdot f_{ci,cube,H}$	*2. feltétel* próbahengerre $f_{ci,cyl} \geq f_{ck,cyl} - 4$
1.	39,1	29,3	29,3 > 26,0
2.	44,6	33,5	33,5 > 26,0
3.	45,1	33,8	33,8 > 26,0
4.	46,2	34,7	34,7 > 26,0
5.	48,5	36,4	36,4 > 26,0
6.	45,1	33,8	33,8 > 26,0
7.	44,3	33,2	33,2 > 26,0
8.	45,4	34,1	34,1 > 26,0
9.	47,9	35,9	35,9 > 26,0
10.	45,8	34,4	34,4 > 26,0
11.	43,2	32,4	32,4 > 26,0
12.	44,1	33,1	33,1 > 26,0
13.	42,6	32,0	32,0 > 26,0
14.	45,7	34,3	34,3 > 26,0
15.	44,9	33,7	33,7 > 26,0
	$f_{cm,cyl,test} =$	**33,6**	átlag
	$s_{15} =$	1,66	szórás
	$s_{min} = 0{,}75 \cdot 3{,}0 =$	2,25	szórás legalább
$f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 1{,}48 \cdot s_{min} = 33{,}6 - 3{,}3 =$ **30,3**			
1. feltétel			
$f_{ck,cyl,test} = 30{,}3 > 30{,}0 = f_{ck,cyl}$			
$f_{cm,cyl,test} = 33{,}6 > 33{,}3 = 30{,}0 + 3{,}3 = f_{ck,cyl} + 1{,}48 \cdot s_{min} = f_{cm,cyl}$			
Nyomószilárdsági osztály: **C30/37**		Mértékegység: N/mm^2	
Értékelés az **MSZ EN 1992-1-1:2010** szabvány szerint, *Student*-tényezővel			
$f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 1{,}761 \cdot s_{min} = 33{,}6 - 4{,}0 =$ **29,6**			
Nyomószilárdsági osztály: **C25/30**		Mértékegység: N/mm^2	
Megjegyzés: Az MSZ EN 206:2014 és az MSZ 4798:2014 szabvány szerint a szórás számításba vehető legkisebb értéke Φ150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt henger esetén $s_{cyl,min} = 3{,}0$ N/mm^2. (Ezt a könyvet 2013-ban adták ki.)			

12.4.3. Beton átadás-átvétele a nyomószilárdság azonosító vizsgálata alapján

A beton nyomószilárdság azonosító vizsgálatát – az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány B melléklete szerint – akkor kell végezni, ha meg akarunk győződni arról, hogy

- a kérdéses friss beton ugyanahhoz az alapsokasághoz tartozik-e, amelyre a gyártó a jellemző szilárdság megfelelőségét igazolta;
- a kérdéses friss beton a gyártó által szavatolt szilárdsági jelnek és esetleg egyéb szavatolt tulajdonságnak megfelel-e, ha a megfelelőség igazolása érdekében a gyártó nem végzett vizsgálatokat;
- a szerkezetbe már bedolgozott szilárd beton a gyártó által szavatolt szilárdsági jelnek megfelel-e.

Értelmezésünk szerint *azonosító vizsgálatot* végez a *független laboratórium* is, ha nem a kezdeti vagy a folyamatos gyártás megfelelőségének vizsgálatával bízták meg (azt a gyártó vagy más laboratórium végezte), hanem – akár a gyártó, akár a megrendelő (építtető, felhasználó, előíró) megbízásából – csak annak megállapítása a feladata, hogy a szóban forgó beton a gyártó által megadott nyomószilárdsági osztálynak megfelel-e. Ugyanilyen azonosító vizsgálatot végezhet a megrendelő, illetve a kivitelező is saját laboratóriumában. Az azonosító vizsgálat feltételeiben célszerű a gyártóval megegyezni, és a vizsgálatot a gyártó bevonásával végezni. Kezdeti és folyamatos vizsgálatot csak a gyártó vagy megbízottja végezhet, amelynek eredménye alapján a gyártó – ha szükséges, tanúsító szervezet bevonásával – megfelelőségi nyilatkozatot tesz. A megfelelőségi nyilatkozat megbízhatóságát a beton megrendelője (vevő = kivitelező, előregyártó) vagy megbízottja azonosító vizsgálattal ellenőrzi.

A vizsgálathoz kivett minták „*n*” számát és a mintavétel helyét az érdekelt felek (előíró, gyártó, felhasználó) írásban (jegyzőkönyvben) rögzített megegyezése alapján kell meghatározni.

A beton átadás-átvételi eljárásának kimenetele, a tétel elfogadása vagy elutasítása az *azonosító vizsgálat* eredményétől függ, nevezzük ezért ezt a vizsgálatot *átadás-átvételi vizsgálatnak*.

Szerkezeteink biztonsága szempontjából is méltányolható, ha ebben az átadás-átvételi eljárásban az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002, MSZ 4798-1:2004) alapelvétől eltérően az átadó és az átvevő kockázata azonos, más szóval, ha a $p = 5$ % alulmaradási hányadú beton elfogadási valószínűsége $A = 50$ %, és a nyomószilárdság vizsgálat mérési eredményeit ennek az elfogadási feltételnek ($p \cdot A(p) = 2{,}5$ %) megfelelően értékeljük. Javaslatunk az új betonszabványokkal nem ellentétes, az azokban foglaltaknál szigorúbb, a beton és vasbeton szerkezetek biztonságát fokozó megfelelőségi feltételekre vezet, amelyek alkalmazása során a meg nem felelő nyomószilárdságú beton nyomon követésére, megerősítésére stb. nincs szükség. A módszert az érdekelt felek külön megállapodás alapján alkalmazhatják, és alkalmazása a 100 év tervezési élettartamú betonok esetén különösen indokolt.

Az alulmaradási tényezővel kapcsolatban fontos idézni a prEN 206:2012 szabványtervezet J mellékletét, amely így szól: „J melléklet (tájékoztatás) Eltérés egy közzétett spanyol előírás figyelembevételére. Az »Instrucción de Hormigón Estructural« (Előírás szerkezeti betonokra) spanyol előírás, amelyet 2008. július 18-án a 1247/2008. számú Királyi Rendelettel hagytak jóvá, azt a követelményt tartalmazza, hogy az átvevő kockázata legfeljebb 50 % értékű lehet, ha a vizsgálati (igazolási) időszak alatt az összes lehetséges szilárdság vizsgálati eredménynek az alapösszességre vonatkoztatott pontosan 5 %-a van a jellemző (karakterisztikus) érték alatt. Ennek a nemzeti szabályozásnak a megváltoztatása nem tartozik a CEN/CENELEC tagok hatáskörébe. Az EN 206 spanyolországi alkalmazása esetén továbbra is érvényes ez a spanyol nemzeti előírás, és Spanyolországban nagyobb együtthatók használata engedélyezett a 8.2.1.3.2. szakasz (B eljárás) szerinti számításokban.” Magyarázat: A prEN 206:2012 szabványtervezet 8.2.1.3.2. szakaszának (5) bekezdése a nyomószilárdság megfelelőségi feltételeit tartalmazza folyamatos gyártás („B” eljárás) esetére, amely szerint a nyomószilárdság átlaga (f_{cm}) egyenlő vagy nagyobb kell, mint a jellemző (karakterisztikus) értéknek (f_{ck}) és a szórás (σ) *Taerwe*-féle 1,48 értékű alulmaradási tényezővel szorzott szorzatának összege: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1{,}48 \cdot \sigma$. Ugyanezen szakasz (4) bekezdése szerint a folyamatos gyártás vizsgálati (igazolási) időszaka 15-35 egymást követő szilárdság vizsgálati eredmény létrejöttének legfeljebb 12 hónap hosszúságú időszaka, ha a folyamatos gyártás vizsgálati eredményeinek száma három hónap alatt kevesebb mint 35; és legalább 15 egymást követő szilárdság vizsgálati eredmény létrejöttének legfeljebb 3 hónap hosszúságú időszaka, ha a folyamatos gyártás vizsgálati eredményeinek száma három hónap alatt legalább 35.

A spanyol szabványügyi testület már 2010. szeptember 8-án javasolta, hogy az EN 206-1:2000 szabvány 14. táblázata (megfelelőségi feltétel a nyomószilárdságra)

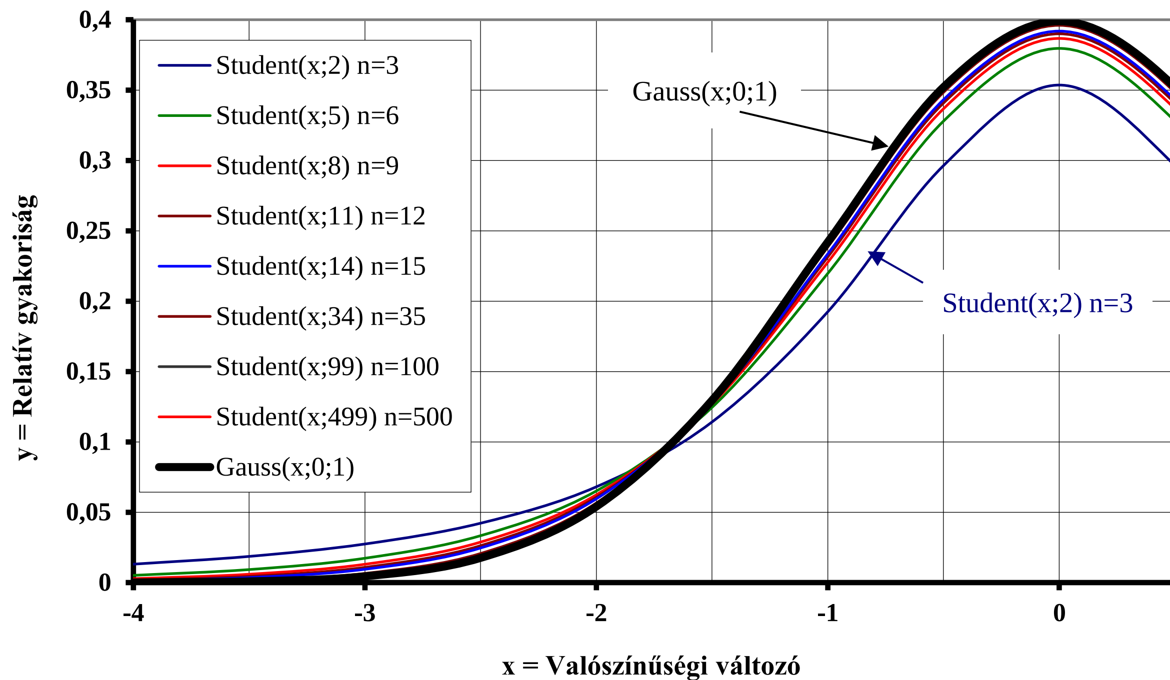
alulmaradási tényezőinek számértékeit tegyék szögletes zárójelbe (mint ami nem előírás), és utalják nemzeti hatáskörbe (*Erdélyi* 2011).

31. táblázat: Alulmaradási tényezők

Mintaszám *n*	Szabadságfok a *Student*-féle eloszlás esetén *n* - 1	*Student*-tényező t_n	*Taerwe*-tényező λ_n
	(*Stange* et al., 1966)		(*Taerwe*, 1986)
2	1	6,314	
3	2	2,920	2,67
4	3	2,353	2,20
5	4	2,132	1,99
6	5	2,015	1,87
7	6	1,943	1,77
8	7	1,895	1,72
9	8	1,860	1,67
10	9	1,833	1,62
11	10	1,812	1,58
12	11	1,796	1,55
13	12	1,782	1,52
14	13	1,771	1,50
15	14	1,761	*1,48*
20	19	1,729	
30	29	1,699	
	∞	*1,645*	

Megjegyzés: Az ebben a táblázatban szereplő *Student*-tényező értékek *Stange – Henning* (1966) matematikai statisztikai könyvéből származnak. Ugyanezek az értékek találhatók *Mohr* (2008) mérnököknek és természettudósoknak szánt matematikai statisztikai könyvében. Ezektől *a Student*-tényező értékektől bizonyos mértékig eltérnek a visszavont MSZ 4720-2:1980 szabványban szereplő *Student*-tényező értékek, mert azokat annak idején még közelítő számítással határozták meg. (*Owen* 1962; *Palotás*: Mérnöki szerkezetek anyagtana I. kötet III. fejezet 9.93.4. szakasz (1979); *Szalai* 1982: 2.8.5. szakasz).

A *31. táblázatban* az egyoldali 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-tényező értékeit adtuk meg, 50 %-os elfogadási valószínűség mellett (*Stange* et al., 1966) és szerepeltetjük a 70 %-os elfogadási valószínűségű *Taerwe*-féle alulmaradási tényezőket is (*Taerwe* 1986). A *31. táblázatban* szereplő *Student*-tényező az $N(0,1)$ eloszlású *t*-eloszlás – egyoldali 5 %-os alulmaradási hányadához tartozó – $t_{95\%,f}$ valószínűségi változója (p = 0,05 értékhez tartozó kvantilise, küszöb értéke, ha *n* a mintaszám, és $f = n - 1$ a *t*-eloszlás szabadságfoka). Ha $n \to \infty$, akkor a *Student*-féle *t*-eloszlás a *Gauss*-féle normális eloszláshoz tart (*32. ábra*).



32. ábra: *Gauss*- és *Student*-eloszlások standardizált sűrűségfüggvénye

Az átadás-átvételi vizsgálat javasolt megfelelőségi feltételeinek matematikai statisztikai alapja nem idegen sem az új (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004), sem a régi (MSZ 4719:1982 és MSZ 4720-2:1980) betonszabványoktól, és a következőkben foglalható össze:

– nem teszünk különbséget a gyártásközi ellenőrzés tanusításával vagy tanusítása nélkül készült beton azonosító vizsgálata között;
– a beton megfelelőségét a vizsgált minták nyomószilárdságának átlaga, szórása és a mintaszám alapján határozzuk meg;
– feltételezzük, hogy a vizsgálati eredmények követik a *Gauss* eloszlást;
– a jellemző értéket a *Gauss* eloszlás alapján az 5 %-os alulmaradási szinthez rendeljük oly módon, hogy az átadás-átvételi eljárásban az elfogadási valószínűség a kritikusan megfelelő betonra nézve közelítőleg 50-50 %, az elfogadási feltétel $p{\cdot}A(p)$ = 2,5 % legyen, szemben az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány rendelkezésével, amely szerint a folyamatos gyártás során az átadás-visszautasítás valószínűsége kritikusan megfelelő betonnál közelítőleg 70-30 %, és az elfogadási feltétel $p{\cdot}A(p)$ = 3,5 % (*Taerwe* 1986);
– a jellemző értéket több mint 40 minta esetén az $f_{ck} = f_{cm} - 1{,}645{\cdot}\sigma$ összefüggésből, ennél kevesebb minta (n) esetén az $f_{ck} = f_{cm} - t_n{\cdot}s_n$ összefüggésből határozzuk meg, ahol σ az elméleti szórás, s_n a tapasztalati szórás, t_n a *Student*-tényező (*Stange* et al. 1966) értéke az n mintaszám függvényében (*32.táblázat*);
– feltételezzük, hogy C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakocka és a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságának összefüggése ($f_{ci,cube,H} = f_{ci,cyl}/0{,}75$), ami a szórások előírt értékére is fennáll, azaz $\sigma_{cube,H} = \sigma_{cyl}/0{,}75$ illetve $s_{cube,H} = s_{cyl}/0{,}75$ (lásd *31. ábra*);
– a kidolgozott eljárás a próbatestek alakjától és tárolási módjától függetlenül alkalmazható, de minden nyomószilárdság mérési eredményt – még a minta nyomószilárdságának értékelése előtt – át kell számítani a szabványos, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahenger nyomószilárdságára.

A beton a tervezett nyomószilárdsági osztálynak megfelel, ha a következő megfelelőségi feltételek egyidejűleg teljesülnek:

1. feltétel: $f_{cm,cyl,test} \geq f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + t_n \cdot s_n$

ahol:

s_n értéke nem lehet kisebb, mint a *32. táblázatban* szereplő megengedett legkisebb szórás (s_{min})

t_n az 5 %-os alulmaradási hányadhoz és *n* mintaszámhoz tartozó, *n* – 1 szabadságfokú *Student*-tényező, 50 %-os elfogadási valószínűség mellett, amelynek értékeit a *31. táblázat* tartalmazza

2. feltétel: ≤ C50/60 osztályú közönséges beton esetén: $f_{ci,cyl} \geq f_{ck,cyl} - 4$;
≥ C55/67 osztályú nagyszilárdságú beton esetén: $f_{ci,cyl} \geq 0{,}9 \cdot f_{ck,cyl}$.

A megfelelőség igazolásának további feltétele, hogy a szilárdság vizsgálatára készített, bedolgozott friss beton és megszilárdult beton próbatestek testsűrűsége feleljen meg a *10. fejezetben* szereplő követelményeknek.

A mintaszámot, a *Student*-tényezőt, a szórás legkisebb értékét a próbakockák nyomószilárdságának javasolt azonosító vizsgálata esetére a *32. táblázat* tartalmazza.

32. táblázat: A mintaszám, a *Student*-tényező és a szórás legkisebb értéke a nyomószilárdság azonosító vizsgálata esetén, a *Student*-tényező alkalmazásával

Betonjellemzők	Tanúsítás nélkül	Tanúsítással			
		Sorozatgyártás esetén			
Nyomószilárdsági osztály	Egyedi (nem sorozat) gyártás esetén, minden esetben	C8/10 – C16/20		C20/25 – C50/60	C55/67 – C100/115
Beton összetételének tervezése szerint		Tervezett beton, előírt összetételű beton és előírt iparági beton		Tervezett beton és előírt összetételű beton	
Környezeti osztály		XN(H), X0b(H), X0v(H) környezeti osztály	Többi környezeti osztály	Valamennyi környezeti osztály	
Mintaszám, legalább, *n*	3	3	6	9	9
Az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó t_n *Student*-tényező, 50 %-os elfogadási valószínűség mellett, az *n* megkövetelt mintaszám függvényében (*Stange* et al. 1966)					
t_n, ha a szabadságfok *n*-1	2,920	2,920	2,015	1,860	1,860
Szórás legkisebb, megengedett értéke, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, Φ150·300 mm-es próbahengerek esetén, s_{min}, N/mm^2	0,75·6 = 4,5	0,75·2 = 1,5	0,75·3 = 2,25	0,75·3 = 2,25	0,75·5 = 3,75
Megjegyzés: Az MSZ EN 206:2014 és az MSZ 4798:2014 szabvány szerint a szórás számításba vehető legkisebb értéke Φ150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt henger esetén $s_{cyl,min}$ = 3,0 N/mm^2. (Ezt a könyvet 2013-ban adták ki.)					

A beton javasolt megfelelőségi feltételek szerinti, 50 %-os elfogadási valószínűség melletti minősítésére 9 próbakocka átadás-átvételi vizsgálati eredménye alapján a *33. táblázatban* mutatunk be példát. A példa szerint a vizsgálatot kizsaluzás után vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockákon végeztük, és minden nyomószilárdság mérési eredményt – még a minta nyomószilárdságának értékelése előtt – átszámítottuk (*31. ábra*) a szabványos, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahenger nyomószilárdságára.

33. táblázat: Számpélda a vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockák nyomószilárdság vizsgálati eredmények értékelésére 50 %-os elfogadási valószínűség melletti átadás-átvételi vizsgálat esetén, a *Student*-tényező alkalmazásával

Minta jele (1 minta = 1 próbatest)	Próbakocka, mért nyomószilárdság $f_{ci,cube,H}$	Próbahenger, számított nyomószilárdság $f_{ci,cyl} = 0{,}75 \cdot f_{ci,cube,H}$	*2. feltétel* $f_{ci,cyl} \geq f_{ck,cyl} - 4$
1.	48,7	36,5	36,5 > 26,0
2.	47,7	35,8	35,8 > 26,0
3.	44,5	33,4	33,4 > 26,0
4.	46,6	35,0	35,0 > 26,0
5.	45,8	34,4	34,4 > 26,0
6.	47,6	35,7	35,7 > 26,0
7.	43,1	32,3	32,3 > 26,0
8.	43,8	32,9	32,9 > 26,0
9.	46,2	34,7	34,7 > 26,0
	$f_{cm,cyl,test}$ =	**34,5**	átlag
	s_9 =	1,42	szórás
	s_{min} =	0,75·3,0 = **2,25**	szórás legalább
	t_9 =	1,86	*Student*-tényező

$f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - t_9 \cdot s_{min} = 34{,}5 - 4{,}2 =$ **30,3**

1. feltétel

$f_{ck,cyl,test} = 30{,}3 > 30{,}0 = f_{ck,cyl}$

$f_{cm,cyl,test} = 34{,}5 > 34{,}2 = 30{,}0 + 4{,}2 = f_{ck,cyl} + t_9 \cdot s_{min} = f_{cm,cyl}$

Nyomószilárdsági osztály: **C30/37**	Mértékegység: N/mm^2

Megjegyzés: Az MSZ EN 206:2014 és az MSZ 4798:2014 szabvány szerint a szórás számításba vehető legkisebb értéke Φ150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt henger esetén $s_{cyl,min}$ = 3,0 N/mm^2. (Ezt a könyvet 2013-ban adták ki.)

A *34. táblázat* számpéldát tartalmaz, amelyben a *33. táblázat* nyomószilárdság vizsgálati eredményeit összehasonlításként a gyártásközi ellenőrzés tanúsításával készített beton nyomószilárdsága szabványos azonosító vizsgálata szerint értékeltük. A *35. táblázatban* pedig olyan számpéldát készítettünk, amelyben a *34. táblázat* nyomószilárdság vizsgálati eredményeit összehasonlításként a „régi” (MSZ 4719:1982 és MSZ 4720-2:1980) betonszabványok szerint értékeltük.

34. táblázat: Számpélda a *33. táblázat* nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek a gyártásközi ellenőrzés tanúsításával készített beton nyomószilárdságának értékelésére az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint

Minta jele (1 minta = 1 próbatest)	Próba-kocka $f_{ci,cube,H}$	Próba-henger $f_{ci,cyl} = 0{,}75 \cdot f_{ci,cube,H}$	*2. feltétel* $f_{ci,cyl} \geq f_{ck,cyl} - 4$
1.	48,7	36,5	36,5 > 26,0
2.	47,7	35,8	35,8 > 26,0
3.	44,5	33,4	33,4 > 26,0
4.	46,6	35,0	35,0 > 26,0
5.	45,8	34,4	34,4 > 26,0
6.	47,6	35,7	35,7 > 26,0
7.	43,1	32,3	32,3 > 26,0
8.	43,8	32,9	32,9 > 26,0
9.	46,2	34,7	34,7 > 26,0
	$f_{cm,cyl,test}$ =	**34,5**	átlag
	$f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - 4$ =	**30,5**	
1. feltétel $f_{ck,cyl,test} = 30{,}5 > 30{,}0 = f_{ck,cyl}$; $f_{cm,cyl,test} = 34{,}5 > 34{,}0 = f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + 4$			
Nyomószilárdsági osztály: **C30/37**		Mértékegység: N/mm^2	

35. táblázat: Számpélda a *33. táblázat* nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek a „régi” (MSZ 4719:1982 és MSZ 4720-2:1980) betonszabványok szerinti értékelésére

Minta jele (1 minta = 1 próbatest)	Próba-kocka $f_{ci,cube,H}$	
1.	48,7	Értékelés az MSZ 4719:1982, az MSZ 4720-2:1980, illetve a MÉASZ ME-04.19:1995 szerint.
2.	47,7	
3.	44,5	
4.	46,6	
5.	45,8	
6.	47,6	
7.	43,1	
8.	43,8	
9.	46,2	
$R_{m,cube,test}$ =	**46,0**	átlag
s_9 =	1,89	szórás
$s_{min,cube}$ =	**2,0**	szórás legalább, MSZ 4720-2:1980
t_9 =	1,82	MÉASZ ME-04.19:1995 → 4.18. táblázat
k_R =	1,24	MÉASZ ME-04.19:1995 → 4.61. képlet
$R_{k,cube,test}$ =	**41,5**	$= 46{,}0 - 4{,}5 = R_{m,cube,test} - k_R \cdot t_9 \cdot s_{min}$
Feltétel $R_{k,cube,test} = 41{,}5 > 40{,}0 = R_{k,cube}$; $R_{k,cube} = 40{,}0 \rightarrow 35{,}0 = R_{k,cyl}$		
Nyomószilárdsági osztály vegyesen tárolt próbahengeren értve: **C35**		Mértékegység: N/mm^2

A *33. táblázat* és a *35. táblázat* számpéldájának összehasonlításával kapcsolatban megemlítjük, hogy a visszavont MSZ 4720-2:1980 szabvány 3.5. szakasza szerint a vegyesen tárolt 150 mm élhosszúságú próbakockák nyomószilárdsága szórásának számításba vett értéke nem lehetett kisebb 2,0 N/mm^2 értéknél (szemben az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti 3,0 N/mm^2 értékkel), az $R_{k,cube} - R_{k,cyl}$ különbség pedig a példa szerinti szilárdsági tartományban a visszavont MSZ 4719-1982 szabvány szerint 5,0 N/mm^2 volt (szemben az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti 10,0 N/mm^2 értékkel). Ezzel megerősítve érezzük azt az állítást, miszerint a *31. ábra* szerinti összefüggések kizárólag az R_i, illetve R_m vagy az f_{ci}, illetve f_{cm} jelű egyedi, illetve átlagos nyomószilárdságok kapcsolatának kifejezésére alkalmasak, és teljesen alkalmatlanok a különböző szabványosítási korokban meghatározott nyomószilárdságok jellemző értékének, illetve a nyomószilárdsági osztályoknak az átszámítására.

Összegezve: Az új betonszabványok szerint a gyártás kezdeti és folyamatos szakaszában a betont a gyártó vizsgálja, és a folyamatosan gyártott beton vizsgálati eredményeiből 70-30 %-os átadás-visszautasítási valószínűségre meghatározott jellemző érték alapján megfelelőségi nyilatkozatot tesz. A beton nyomószilárdsági és egyéb tulajdonságait a beton megrendelője, illetve megbízottja az átadás-átvételi folyamat részeként ellenőrzi. A nyomószilárdság vizsgálatok eredményének értékelését jelentősen befolyásolja a jellemző érték kiszámításának módszere, amiben az alulmaradási tényező értékének van meghatározó szerepe. Szerkezeteink biztonsága szempontjából méltányolható az olyan módszer (*33. táblázat*) alkalmazása, amelyben az átadó és az átvevő kockázata 50-50 %, különösképpen a 100 év tervezési élettartamú építmények esetén.

Aki a beton jellemző (karakterisztikus) értékét nem a *Student*-féle, hanem a *Taerwe*-féle alulmaradási tényezővel számolja ki, annak tisztában kell lennie azzal, hogy a *Taerwe*-féle alulmaradási tényezőket annak feltételezésével határozták meg, hogy a beton minőségét a gyártástól a beépítésen át az utókezelést is beleértve folyamatosan ellenőrzik, a friss beton – egyébként kifogástalan – beépítését folyamatosan nyomon követik, és azokon a szerkezeti helyeken, ahová olyan beton szállítmányt építettek be, amelyről a megszilárdult beton nyomószilárdság vizsgálata során kiderül, hogy nem megfelelő, azt utólagosan kicserélik, megerősítik, vagy más módon gyakorlati szempontból tökéletessé teszik.

12.5. ÉPÍTMÉNY BETONJÁNAK NYOMÓSZILÁRDSÁGA

Régóta vizsgált kérdés, hogy az építmény, az építményből kifúrt magminta és a sablonban készített próbatest betonjának nyomószilárdsága miképp viszonylik egymáshoz (*Erdélyi 1969)*.

Az építmény, és annak részét képező előregyártott elem betonja nyomószilárdságának értékelésével az MSZ EN 13791:2007 európai szabvány foglalkozik, amely az építmény betonja nyomószilárdságának jellemző értékét a beton vizsgálati eredményekből meghatározott nyomószilárdság jellemző értékével azonosítja. Az európai szabvány áttekintése során érdemes annak német verziójára is pillantást vetni, mert a DIN EN 13791:2008 szabvány nemzeti alkalmazási dokumentumot is tartalmaz, amely az EN 13791:2007 európai szabvány német nyelvű verziójában nem található meg.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány nem alkalmazható akkor, ha a közvetett vizsgálat eredményét a magminta MSZ EN 12504-1:2009 szabvány szerinti nyomószilárdságával nem hozták összefüggésbe, ha a magminták átmérője 50 mm-nél kisebb, és ha a magminták száma kevesebb, mint három.

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.2 szakasza szerint a magminták átmérője 100 mm vagy 150 mm legyen, és különleges esetekben se legyen kisebb, mint 50 mm. A magminták

hosszúsága – az esetleg felhordott kiegyenlítő rétegeket is beleértve – legfeljebb ± 10 %-kal térjen el az átmérőtől, tehát 1:1 méretarányú legyen.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány szerint az építmény betonja nyomószilárdságát vagy közvetlenül kizárólag magminták vizsgálatával, vagy magminták nyomószilárdságával átalakított közvetett vizsgálati eredményekkel lehet meghatározni. A szabvány felfogásában

- a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminta nyomószilárdsága megfelel a vele azonos körülmények között készített 150 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdságának. Légszáraz állapotban végzett vizsgálatot feltételezve: $f_{c,is,cyl,100} = f_{c,cube,H}$;
- a 100 mm és 150 mm közötti átmérőjű és kétszer ilyen hosszú magminta nyomószilárdsága megfelel a vele azonos körülmények között készített 150 mm átmérőjű és 300 mm magas próbahenger nyomószilárdságának. Légszáraz állapotban végzett vizsgálatot feltételezve: $f_{c,is,cyl\ Ø100·200} = f_{c,is,cyl\ Ø150·300} = f_{c,cyl,H}$.

Az $f_{c,cube,H} = f_{c,cyl,H}/0,74$ összefüggésből adódik, hogy egyrészt légszáraz állapotban végzett vizsgálatot feltételezve, másrészt a 150 mm közötti átmérőjű és kétszer ilyen hosszú magmintát az összefüggés felső határfeltételének tekintve fennáll az egyenlőség:

$$f_{c,is,cyl,100} = f_{c,is,cyl\ Ø150·300}/0,74$$

Ebből felírhatunk egy egyenletet, amellyel a 100 mm és 150 mm közötti átmérőjű, $1 < h/d \leq 2$ hosszúság/átmérő arányú magminták nyomószilárdságából ($f_{c,is,cyl,Ød/h}$) a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminta nyomószilárdságát ($f_{c,is,cyl,100}$) az MSZ EN 13791:2007 szabvány szellemében ki tudjuk számítani:

$$f_{c,is,cyl,100} = (0,35·h/d + 0,65)·f_{c,is,cyl,Ød/h}$$

Nem követünk el nagy hibát, ha az összefüggést a legalább 90 mm átmérőjű és $0,9 < h/d < 1$ hosszúság/átmérő arányú magminták esetén is alkalmazzuk.

A szabvány szerint azoknak az 50 mm és 150 mm közötti átmérőjű magmintáknak a nyomószilárdságát, amelyek hossza az átmérőtől eltér, az építési helyen, a kérdéses országban szokásos módszerrel a szabványos nyomószilárdságra át kell számítani.

A magminta nyomószilárdságát a fúrás iránya szerint általában – ha csak nincs előírva –, nem szokás átszámítani.

Az 50 mm átmérőjű és ugyan olyan hosszú magminták száma – nagyobb nyomószilárdsági szórásuk miatt – a 100 mm átmérőjű magminták számának háromszorosa legyen; az 50 mm és 100 mm közötti átmérőjű magminták száma interpolálható (például a 75 mm átmérőjű és ugyan olyan hosszú magminták száma a 100 mm átmérőjű magminták számának kétszerese legyen).

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.3 szakasza szerint a magminták száma feleljen meg a DIN 1045-3:2001 szabvány A.2 szakaszában foglaltaknak. Ha a magminta átmérője kisebb, mint 100 mm, és a legnagyobb szemnagyság legfeljebb 16 mm, akkor a magminták száma az egyébként szükségesnek másfélszerese, ha a legnagyobb szemnagyság nagyobb, mint 16 mm, akkor az egyébként szükségesnek kétszerese legyen.

Roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálat esetén a mérési helyek száma a DIN 1045-3:2001 szabvány A.2 szakaszában megadotthoz képest háromszoros legyen.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 7.3. szakasza szerint a magminta nyomószilárdságok értékelésének két módja van, az „A” és a „B” módszer. Az „A” módszer alkalmazásához legalább 15 darab magmintára, a „B” módszer alkalmazásához 3-14 közötti számú magmintára van szükség. Az értékelés lényegében követi az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 8.2.1.3.

szakaszának a folyamatos és a kezdeti gyártás során mért nyomószilárdságok értékelésének előírásait, és eredménye a magminták nyomószilárdságának jellemző értéke.

A magminták nyomószilárdságának jellemző értéke

– az „A” módszer esetén a következő két érték közül a kisebb:
  $f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \cdot s$ vagy $f_{ck,is} = f_{is,min} + 4$
– a „B” módszer esetén a következő két érték közül a kisebb:
  $f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$ vagy $f_{ck,is} = f_{is,min} + 4$

ahol:

$f_{ck,is}$	a magminták nyomószilárdságának tapasztalati jellemző értéke (is = in situ = eredeti helyén)
$f_{m(n),is}$	az n számú magminta nyomószilárdságának tapasztalati átlagértéke
$f_{is,min}$	a magminták nyomószilárdságának tapasztalati legkisebb értéke
k_2	alulmaradási tényező, amelynek értékét a nemzetek előírhatják. Ilyen előírás hiányában értéke k_2 = 1,48, amely nem más, mint a legalább n =15 vizsgálati eredmény esetén érvényes *Taerwe*-féle alulmaradási tényező (könyvünkben máshol λ_{15}-nek jelöljük)
k	összeadandó, n = 10-14 esetén k = 5; n = 7-9 esetén k = 6; n = 3-6 esetén k = 7

Mint látni fogjuk, a német közlekedési minisztérium (Bundesministerium für Verkehr) 2011. évi irányelve a régi közúti hidak betonja szilárdságának értékeléséhez a fenti „A” és „B” módszer helyett a nagyobb biztonságot adó, a DIN EN 1990:2002 szabvány (MSZ EN 1990:2011 Eurocode) D1. táblázata (*37. táblázat*) szerinti, a *Student*-tényezőhöz hasonló alulmaradási tényező használatát írja elő, továbbá megtiltja, hogy a DIN EN 13791:2008 európai szabvány „A” és „B” szerinti módszerét a vizsgálati eredmények értékelésére használják, és az építmény betonjának nyomószilárdsági osztályba sorolását nem tartja szükségesnek.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány megengedi, hogy a magminták betonjának a szabvány valamely értékelési módszerével meghatározott nyomószilárdsági jellemző értéke alapján az építmény betonját nyomószilárdsági osztályba sorolják. Ehhez az építmény betonja nyomószilárdságának jellemző értékét úgy kapják meg, hogy a magminták betonja nyomószilárdságának jellemző értékét 0,85 tényezővel elosztják. Például, ha a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminta betonja tapasztalati nyomószilárdságának jellemző értéke – a szabvány felfogásában megfelel a vele azonos körülmények között készített 150 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdságának jellemző értékével – $f_{ck,is,cube,test}$ = 22 N/mm^2, akkor az építmény betonja szabványos próbakockára vonatkoztatott tapasztalati nyomószilárdságának jellemző értéke $f_{ck,,cube,test}$ = 22/0,85 = 25,9 N/mm^2, és az építmény betonjának nyomószilárdsági osztálya a szabvány felfogásában C20/25. Az építmény betonja nyomószilárdságának előírt jellemző értékeit ($f_{ck,is,cyl} \sim 0{,}85 \cdot f_{ck,cyl}$ és $f_{ck,is,cube} \sim 0{,}85 \cdot f_{ck,cube}$) az EN 206-1:2000 szabványra vonatkoztatva, közönséges beton esetére, az MSZ EN 13791:2007 szabvány 1. táblázatában adták meg. Itt elsikkad a vizes/vegyes tárolást figyelembe vevő 0,92 értékű tényező.

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.1. táblázata a tömör szövetszerkezetű könnyűbetonból készült építményekre is megadja a nyomószilárdsági osztályokat.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 1. táblázatának és a DIN EN 13791:2008 szabvány NA.1. táblázatának 2. megjegyzése szerint a 0,85 tényező *részét képezi* az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerinti γ_C értéknek. A szóban forgó γ_c érték a beton biztonsági (parciális) tényezője, amelynek értéke a parciális tényezős (osztott biztonsági tényezős) méretezési eljárás esetén, a

teherbírási határállapot vizsgálata során, tartós és ideiglenes állapotban általában γ_C = 1,5 (MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 2.4.2.4. szakasza és 2.1N. táblázata). Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány „A" melléklete A2.3. szakaszának (1) bekezdése értelmében, ha beton szilárdságát a megvalósult szerkezeten vagy szerkezeti elemen kísérlettel (vizsgálattal) határozzák meg, (lásd például az MSZ EN 13791:2007 szabványt), akkor a γ_C értékét az η átszámítási tényezővel csökkenteni lehet, és a csökkentő tényező ajánlott értéke η = 0,85. A γ_C érték, amelyre e csökkentést alkalmazzák, már önmaga is egy csökkentett érték lehet; azonban a biztonsági (parciális) tényező értékét általában az összes csökkentést követően sem lehet kisebbre felvenni, mint $\gamma_{C,red4}$, amelynek ajánlott értéke $\gamma_{C,red4}$ = 1,3. Képezzük a $\gamma_{C,red4}/\gamma_C$ = 1,3/1,5 = 0,866 ~ 0,85 értékű hányadost, amely magyarázatát adja a nyomószilárdsági jellemző érték MSZ EN 13791:2007 szabvány 1. táblázatában szereplő ugyan ilyen értékű módosító tényezőjének.

A MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerint a közönséges beton igénybevételből számított nyomófeszültsége (σ_{cu}), a nyomószilárdság tervezési értéke (f_{cd}), a nyomószilárdság 150 mm átmérőjű és 300 mm magas szabványos próbahengereken értelmezett előírt ($f_{ck,cyl}$) és tapasztalati ($f_{ck,cyl,test}$) karakterisztikus (jellemző) értéke között a következő összefüggés áll fenn:

$$\sigma_{cu} \leq f_{cd} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_C} \cdot f_{ck,cyl} \leq \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_C} \cdot f_{ck,cyl,test} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_C} \cdot 0{,}78 \cdot f_{ck,cube,test}$$

ahol:

α_{CC} a tartós szilárdság figyelembevételére szolgáló csökkentő tényező, amelynek értéke α_{cc} = 0,85 (MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 3.1.6. szakasza szerint)

γ_C a beton fenn említett biztonsági (parciális) tényezője a parciális tényezős (osztott biztonsági tényezős) méretezési eljárás esetén, amelynek értéke γ_C = 1,5

A szerkezetből kifúrt, „*t*" korú, 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminták nyomószilárdságát ($f_{c,is,cyl,100,t}$) az MSZ EN 13791:2007 szabvány a velük *„azonos körülmények"* között készített 150 mm élhosszúságú próbakockák nyomószilárdságával tekinti azonosnak. Az építményből kifúrt magminta betonját nem tárolták 28 napos korig víz alatt, és nyomószilárdság vizsgálata általában (MSZ EN 13791:2007 szabvány 7.1. szakasza, MSZ 4798-1 szabvány 5.5.1.2. szakasza) légszáraz állapotban történik, tehát készítésének körülménye véleményünk szerint a vegyesen tárolt szabványos próbakockákéval vehető azonosra, azaz az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti jelöléssel $f_{c,is,cyl,100,t} = f_{c,cube,H,t} = f_{c,cube,t}/0{,}92$. Így a fenti összefüggés a szerkezetből kifúrt 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú, légszárazon vizsgált magminták esetén a következő alakot ölti:

$$\sigma_{cu,t} \leq f_{cd,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot f_{ck,cyl,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}82 \cdot f_{ck,cube,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}92 \cdot f_{ck,cube,H,t} \leq$$

$$\leq \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}75 \cdot f_{ck,cube,H,test,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}75 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,t}$$

ahol:

$\gamma_{C,red4}$ a beton fenn említett csökkentett biztonsági (parciális) tényezője, amelynek értéke $\gamma_{C,red4}$ = 1,3

$f_{ck,cyl,t}$ a nyomószilárdság 150 mm átmérőjű és 300 mm magas, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbahengereken értelmezett előírt jellemző (karakterisztikus) értéke, *t* napos korban

$f_{ck,cube,t}$ a nyomószilárdság 150 mm élhosszúságú, kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbakockákon értelmezett előírt jellemző (karakterisztikus) értéke: $f_{ck,cube} = f_{ck,cyl}/0{,}82$, *t* napos korban, ha $s_{cube} = s_{cyl}/0{,}82$

$f_{ck,cube,H,t}$ a nyomószilárdság 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon értelmezett előírt jellemző (karakterisztikus) értéke: $f_{ck,cube,H} = f_{ck,cube}/0{,}92$, *t* napos korban, ha $s_{cube} = s_{cyl}/0{,}92$

$f_{ck,cube,H,test,t}$ a nyomószilárdság 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon értelmezett tapasztalati jellemző (karakterisztikus) értéke: $f_{ck,cube,H,test} = f_{ck,cube,test}/0{,}92$, *t* napos korban, ha $s_{cube} = s_{cyl}/0{,}92$

$f_{ck,is,cyl,100,test,t}$ a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú fúrt magminták légszáraz állapotban meghatározott nyomószilárdságának tapasztalati jellemző (karakterisztikus) értéke: $f_{ck,is,cyl,100,test} = f_{ck,cube,H,test}$, *t* napos korban

A fenti összefüggéssel összhangban az MSZ EN 13791:2007 szabvány 7.1. szakasza szerint a (fúrástól, vágástól, csiszolástól vizes) magmintákat vizsgálat előtt legalább három napig laborlevegőn kell tárolni. Az MSZ 4798-1.2004 szabvány 5.5.1.2. szakasza szerint a szerkezetből kifúrt hengerek nyomószilárdságát légszáraz állapotban kell vizsgálni.

A magminták előkészítését az MSZ EN 12504-1:2009 szabvány 9. szakasza szerint kell végezni, a szabvány 9. szakasza szerint a nyomószilárdság átlagát 0,1 N/mm^2 mm értékre kerekítve (a korábban előírt 0,5 N/mm^2 érték helyett) kell megadni. Az MSZ EN 12504-1:2009 szabvány 8.1. szakasza szerint a magminták nyomószilárdságát vízzel telített állapotban is lehet vizsgálni, ebben az esetben a magmintákat a vizsgálat előtt legalább 48 órán át (20 ± 2) °C hőmérsékletű vízben kell tárolni. Erre az esetre (nyomószilárdság vizsgálat a magminta vízzel telített állapotában) a beton igénybevételből számított nyomófeszültségének ($\sigma_{cu,t}$) egyenlőtlenségét a következő alakban írhatjuk fel:

$$\sigma_{cu,t} \leq f_{cd,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot f_{ck,cyl,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}82 \cdot f_{ck,cube,t} \leq$$

$$\leq \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}82 \cdot f_{ck,cube,test,t} = \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}82 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t}$$

ahol $f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t}$ a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú, *t* korú, a vizsgálat előtt legalább 48 órán át (20 ± 2) °C hőmérsékletű vízben tárolt magminták nyomószilárdságának tapasztalati jellemző (karakterisztikus) értéke: $f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t} = f_{ck,cube,test,t}$

A nyomószilárdság tervezési értékének összefüggésébe írjuk a $\gamma_{C,red4}$ helyére a $0{,}866 \cdot \gamma_C \sim 0{,}85 \cdot \gamma_C$ szorzatot, légszáraz állapotban vizsgált magminták esetén:

$$f_{cd,t} \leq \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}75 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,t} = \frac{\alpha_{CC}}{0{,}85 \cdot \gamma_C} \cdot 0{,}75 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,t} =$$

$$= \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_C} \cdot 0{,}75 \cdot \frac{f_{ck,is,cyl,100,test,t}}{0{,}85}$$

vagy a vizsgálat előtt legalább 48 órán át (20 ± 2) °C hőmérsékletű vízben tárolt magminták esetén:

$$f_{cd,t} \leq \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_{C,red4}} \cdot 0{,}82 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t} = \frac{\alpha_{CC}}{0{,}85 \cdot \gamma_C} \cdot 0{,}82 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t} =$$

$$= \frac{\alpha_{CC}}{\gamma_C} \cdot 0{,}82 \cdot \frac{f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t}}{0{,}85}$$

Ez utóbbi két $f_{cd,t}$ összefüggés azt mutatja, hogy az építmény-beton nyomószilárdsága tervezési értékének ($f_{cd,t}$) kiszámításához vagy a $\gamma_{C,red4}$ csökkentett biztonsági tényezőt kell alkalmazni a méretezés során, vagy a szerkezeti beton magmintái nyomószilárdsága jellemző értékét kell 0,85 értékkel osztani, de a két művelet egyidőben nem végezhető, *tehát ha a magmintaszilárdságokat 0,85-dal osztották, akkor a csökkentett biztonsági tényezőt* ($\gamma_{C,red4}$) *a méretezéskor nem szabad alkalmazni, és fordítva.*

Seim (2007) írja könyve 5.2.1. szakaszának végén: „Ha a szerkezet betonjának (Bauwerksbeton) a nyomószilárdsági osztályát az E DIN EN 13791:2006 szabványtervezet szerint határozták meg, akkor a rész biztonsági tényezőket (Teilsicherheitsbeiwerte) tovább csökkenteni nem szabad.” Az E DIN EN 13791:2006 szabványtervezetet időközben felváltotta a végleges DIN EN 13791:2008 szabvány, amelynek magyar változata: MSZ EN 13791:2007.

Javasoljuk, hogy a félreértések megelőzése érdekében a vizsgáló mérnök határozza meg a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszúságú magminták nyomószilárdsága tapasztalati átlagértékét, szórását és jellemző (karakterisztikus) értékét ($f_{ck,is,cyl,100,test,t} = f_{ck,cube,H,test,t} = f_{ck,cyl,test,t}/0{,}75 = f_{cm,is,cyl,100,test,t} - t_n \cdot s_{is,cyl,100,test,t}$, esetleg $f_{ck,is,cyl,100,test,vizes,t} = f_{ck,cube,test,t} = f_{ck,cyl,test,t}/0{,}82 = f_{cm,is,cyl,100,test,vizes,t} - t_n \cdot s_{is,cyl,100,test,vizes,t}$), *a biztonsági tényezőt pedig a méretezést végző statikus csökkents*e. A jellemző (karakterisztikus) érték kiszámításához a *Student*-tényezőt (*31. táblázat*) vagy az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázatának alulmaradási tényezőjét (*37. táblázat*) használjuk (t_n). *A magminták nyomószilárdságából az építmény vagy annak részei betonjának nyomószilárdsági osztályát nem szükséges kiszámítani,* mert az építmény teherbírásának meghatározásához ($f_{cd,t} \leq \alpha_{CC} \cdot 0{,}75 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,t}/\gamma_{C,red4}$) nincs rá szükség.

Fogalom meghatározásából (definíciójából) következik, hogy a nyomószilárdsági osztály a 28 napos korú beton szilárdsági viszonyainak kifejezője, más szóval ettől eltérő időpontban a beton nyomószilárdsága a nyomószilárdsági osztállyal nem írható le; tehát például a 10 éves korú építmény betonjának nyomószilárdsági osztálya értelmezhetetlen kategória, a 10 éves korú építmény betonjának nyomószilárdsági osztálya csak 28 napos korban volt. Ezért a 28 napostól eltérő korú beton nyomószilárdságának vizsgálati eredménye alapján, az utószilárdulás (hidratáció), stb. figyelembevétele nélkül, a 28 napos korú beton nyomószilárdsági osztályáról nem szabad nyilatkozni. Megjegyzendő, hogy *a beton korának nyomószilárdság befolyásoló hatását* az MSZ EN 13791:2007 szabvány A.1. szakasza megemlíti, de *figyelembevételét* a szabvány 1. táblázata végül is *mellőzi.*

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 1. táblázatának 0,85 (pontosabban 0,866 ~ 0,87) értékű magmintaszilárdsági osztója emlékeztet a visszavont MSZ 4720-2:1980 szabványra, amelynek 4.5.3. szakasza szerint a beépített, megszilárdult betonból kivett próbatestek nyomószilárdságának szabványos méretű és korú próbatestek nyomószilárdságára átszámított tapasztalati jellemző (karakterisztikus) értékét a β tényezővel meg kellett szorozni, amelynek ajánlott értéke β = 1,15 volt. A β = 1,15 szorzónak a reciproka, tehát az osztó 1/β = 1/1,15 = 0,87. Ugyancsak β = 1,15 volt a szorzó, ha a megépült szerkezet betonját roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálat eredményével; de β = 1,00, ha magminta vizsgálata nélkül két különböző, egymástól független roncsolásmentes (például *Schmidt*-kalapácsos és ultrahangos) vizsgálat eredményével minősítették, és csak β = 0,75, ha a betonszilárdságot kivételesen csak

egyfajta roncsolásmentes vizsgálat mérési adataiból határozták meg (MI 15011:1988 műszaki irányelv M1.10.3.3. szakasza). Kettősség azonban nem volt, mert méretezéskor az MSZ 15022-1:1986 szabvány 1.2.5. szakasza alapján már nem tettek különbséget a szabványos próbatest és a megépült szerkezetből kivett próbatest nyomószilárdságának jellemző értéke között, amikor a nyomási határfeszültséget (akkor így hívták a nyomószilárdság tervezési értékét) megadták. Az MSZ 15022-1:1986 szabvány szerint a nyomási határfeszültségnek és a nyomószilárdság előírt jellemző értékének hányadosa (az utóbbi 10 N/mm^2 és 55 N/mm^2 értéke között) α/γ = 0,750-0,636 közötti szám volt, szemben a jelenlegi, MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerinti α_{CC}/γ_C = 0,85/1,5 = 0,567, illetve $\alpha_{CC}/\gamma_{C,red4}$ = 0,85/1,3 = 0,654 értékkel.

Térjünk vissza az MSZ EN 13791:2007 szabványhoz. A szabvány A.3.4. szakaszában a magminták véglapjainak habarcsozása helyett azok csiszolását ajánlják. Véleményünk szerint a csiszolás helyett egy nagyszilárdságú, vékony gipszréteggel való bevonás is megfelelhet. Az MSZ EN 13791:2007 szabvány A.3.5. szakasza szerint a magminta kisebb nyomószilárdságot eredményezhet, mint a szabványos próbahenger, mert a magminta palástfelületén elvágott féloldalas adalékanyag szemek találhatók, amelyek csak tapadás folytán maradnak a felületen, és a magminta szilárdságához általában nem járulnak hozzá.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8. fejezetében a következő értékelési módszereket ismertetik:

– Az értékelés **„1. lehetősége”** közvetett vizsgálattal (MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.2. szakasza) akkor alkalmazható, ha a vizsgáló személy *legalább 18 vizsgálati értékpár alapján* regresszió számítással közelítő összefüggést ír fel a magminta nyomószilárdsága (MSZ EN 12504-1:2009) és valamely közvetett vizsgálat eredménye – visszapattanási érték (MSZ EN 12504-2:2013), kihúzóerő (MSZ EN 12504-3:2005), ultrahang terjedési sebesség (MSZ EN 12504-4:2005) – között. Az értékpár független és függő változója egy azon vizsgálati hely vizsgálati eredménye, tehát értelmezésünk szerint a roncsolásmentes vizsgálatot az építményen és nem a kifúrt próbahengeren kell végezni. A független változó a közvetett vizsgálat eredménye, a függő változó a magminta nyomószilárdsága. A felírt összefüggés alakja egyenes vagy görbe lehet, érvényessége az értékpárok tartományára terjed ki. A regresszió számítás a közelítő (regressziós) összefüggés együtthatóit eredményezi. Ezek ismeretében ki kell számítani a becslés standard hibáját, a közelítő összefüggés megbízhatósági határait és tűréshatárait. A közelítő összefüggést a 10 %-os alulmaradási hányadhoz kell rendelni, tehát a magmintaszilárdság az összefüggésből leolvasott nyomószilárdságot nagy valószínűséggel az esetek 90 %-ában meghaladja. A 18 vizsgálati eredményhez tartozó *Student*-tényező értéke 10 %-os alulmaradási hányad esetén $t_{18,90\%}$ = 1,333.

– Tényleges építmény-beton vizsgálata során ki kell számítani a 10 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó regressziós összefüggésből (nevezzük 10 %-os alul-maradási hányadú *vonatkoztatási görbének*) leolvasott egyedi szilárdság értékeket ($f_{is,I}$, is = in situ, eredeti helyzetben, azaz helyszíni) – amelyek száma bizonyára több, mint a regressziós összefüggés meghatározásához használt értékpárok száma, azaz több, mint 18 – a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakockák – közvetett vizsgálati eredményhez (például visszapattanási értékhez) tartozó – nyomószilárdsága egyedi értékeinek tekintjük. Ezután – bár az átszámításról az MSZ EN 13791:2007 szabvány nem szól – a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakocka egyedi nyomószilárdságát át kell számítani (*31. ábra*) a végig víz alatt tárolt próbatest egyedi nyomószilárdságára (f_{ci}), majd ezt követően meg kell határozni ezek átlagát ($f_{cm,R}$) és szórását (s_R), valamint az építmény-beton nyomószilárdságának jellemző értékét ($f_{ck,R} = f_{cm,R} - t_{n,95\%} \cdot s_R$), ahol az R index arra utal, hogy a

nyomószilárdságot például a *Schmidt*-kalapácsos visszapattanási értékekből határoztuk meg. Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.2.4. szakasza az építmény-beton nyomószilárdsága 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó jellemző értékének ($f_{ck,is}$) kiszámítását az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 14. táblázatában folyamatos gyártás esetére megadott módszerrel (*Taerwe*-féle alulmaradási tényezővel) végezteti, ehelyett helyesebbnek tarjuk a könyvünk *31. táblázata* szerinti, 5 %-os alulmaradási hányadú *Student*-tényezőnek ($t_{n,95\%}$) vagy a *37. táblázat* szerinti, az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázata „»V« ismeretlen"sorának alkalmazását.

– Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.2.4. szakasza szerint a jellemző érték kiszámításához legalább 15 (érdekes, hogy nem 18) vizsgálati helyre van szükség, és a számításba veendő szórás legkisebb értéke 3,0 N/mm^2. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány a vegyesen tárolt 150 mm élhosszúságú próbakockák számításba veendő legkisebb szórására ír elő 3,0 N/mm^2 értéket. A számítás eredménye a tapasztalati $f_{ck,is}$ jellemző érték (mi így jelölnénk: $f_{ck,is,test}$), amely nem lehet kisebb, mint az MSZ EN 13791:2007 szabvány 1. táblázatában szereplő előírt $f_{ck,is,cyl}$, illetve, $f_{ck,is,cube}$ jellemző érték, amely táblázattal kapcsolatos fenntartásainkról fenn már szóltunk, és alább még szólni fogunk.

– Az értékelés **„2. lehetősége"** közvetett vizsgálattal (MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.3. szakasza) akkor alkalmazható, ha *legalább 9 vizsgálati értékpár alapján* minden értékpárra meghatározzák a közvetett vizsgálat eredményéhez tartozó magmintaszilárdság (f_{is}) és a szabvány 8.3.3. szakasza, illetve a 2. vagy a 3. vagy a 4. ábrája szerinti – vagy más – vonatkoztatási egyenesen, illetve görbén (becslő alapösszefüggésen, alapgörbén) a közvetett vizsgálat eredményéhez tartozó, az alapösszefüggésen (alapgörbén) leolvasott nyomószilárdság értéke (például a visszapattanási értékhez tartozó nyomószilárdság: f_R) közötti különbségeket (például $\delta f = f_{is} - f_R$), és kiszámítják a δf különbségek átlagát ($\delta f_{m(n)}$) és a szórást (s), amely – úgy gondoljuk (a szabvány nem mondja), hogy *nem* az $f_{is,cyl,100} = f_{c,cube,H}$ magmintaszilárdságok szórása (jelöljük így: s_{fis}), *hanem* a δf szilárdság különbségek szórása (jelöljük így: $s_{\delta f}$). Ezek ismeretében az MSZ EN 13791:2007 szabvány 3. táblázatában található, az értékpárok számának megfelelő *Taerwe*-féle alulmaradási tényezővel (k_1) meg kell határozni a szilárdság különbségek jellemző értékét ($\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \cdot s_{\delta f}$), amellyel az alapgörbét (becslő alapösszefüggést) – általában felfelé – önmagával párhuzamosan el kell tolni.

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány 3. táblázata szerinti alulmaradási tényezők az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 14. táblázatában folyamatos gyártás esetére, legalább 15 vizsgálati eredményre megadott *Taerwe*-féle alulmaradási tényező megfelelői 9-15 közötti vizsgálati eredményre, amelyek helyett az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-féle alulmaradási tényezőknek (*31. táblázat*) vagy az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázata „»V« ismeretlen"sorának (*37. táblázat*) alkalmazását tartjuk helyénvalónak. Ennek az a magyarázata, hogy egyrészt a *Taerwe*-féle alulmaradási tényezők alkalmazásával, a biztonság kárára, nagyobb építmény-beton nyomószilárdságot kapunk, mintha a *Student*-tényezőkkel számolnánk, másrészt az építmény-beton nyomószilárdságának meghatározása célját és körülményeit tekintve egészen más feladat, mint a folyamatosan gyártott beton megfelelőségének ellenőrzése, amelynek során a *Taerwe*-tényező alkalmazása úgyszintén kifogásolható (*Kausay* 2006). Ez a megjegyzésünk nemcsak értékelés „2. lehetőségére", hanem az „1. lehetőségre" és a „3. lehetőségre" is vonatkozik. Ezzel kapcsolatban figyelemre méltó az MSZ EN 13791:2007 szabvány 7.3.2. szakaszának – amely a magminta nyomószilárdságok értékelésének

„A" módszerével foglalkozik – a meghatározása a k_2 alulmaradási tényezőről: „k_2 is given in national provisions or, if no value is given, taken as 1,48", tehát „k_2 értékét a *nemzeti előírások tartalmazzák.* Ha ilyen nem létezik, akkor az 1,48 értéket kell alkalmazni", ahol 1,48 a *Taerwe*-féle alulmaradási tényező 15 vizsgálati eredmény esetén (könyvünkben máshol λ_{15}-nek jelöljük) Az MSZ EN 13791:2007 szabvány nem tartalmaz magyar nemzeti előírást, de ez pótolható.

Megjegyezzük, hogy az alapgörbe $\delta f_{m(n)}$ értékkel történő, önmagával párhuzamos eltolását (nevezzük a $\delta f_{m(n)}$ értékkel önmagával párhuzamosan eltolt alapgörbét középgörbének), illetve ($\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \cdot s_{\delta f}$) értékkel való, önmagával párhuzamos eltolását nem feltétlenül befolyásolja a magmintaszilárdságok szórása (s_{fis}). Egyrészt a fúrt magmintákon mért nyomószilárdságok trendgörbéje (*33. ábrán* a 3. görbéje) ritkán párhuzamos az alapgörbével, illetve a középgörbével, másrészt az azonos átlagértékű ($f_{is,m}$), de eltérő szórású (s_{fis}) magmintaszilárdságok ugyanazt a középgörbét eredményezik, harmadrészt azonos egyedi magmintaszilárdságok (f_{is} = konstans) esetén a magmintaszilárdságoknak ugyan nincs szórása ($s_{fis} = 0$), de ezek az azonos egyedi magmintaszilárdságok a középgörbe körül mégis szórnak.

További megjegyzésünk, hogy az MSZ EN 13791:2007 szabvány 1. ábráján a vonatkoztatási (becslő) görbét az alulmaradási tágasság ($k_1 \cdot s$) levonása nélkül az ábrázoló pontok mezejének közepébe rajzolták. Ez az ábra úgy néz ki, mintha az alapgörbét a szilárdság különbségek $\delta f_{m(n)}$ átlagával tolták volna el, pedig a feladat végső megoldása nem ebben áll.

Az eltolással meghatározott összefüggés érvénye az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.3.4. szakasza szerint az abszcissza-tengely (vízszintes tengely) felett a közvetett vizsgálati módszertől függ, például *Schmidt*-kalapácsos eljárás esetén a vonatkoztatási egyenes (becslő összefüggés) eltolásához használt *Schmidt*-kalapács visszapattanási értékekhez képest legfeljebb ±2 visszapattanási érték (feltehetőleg azért, mert a megfelelő állapotú *Schmidt*-kalapács a kalibráló üllőn 78-82 közötti visszapattanási értéket mutat), például a *36. táblázatbeli*, illetve *33. ábrabeli* számpéldánk esetén a vonatkoztatási görbe érvényességének alsó határa 31-2 = 29, felső határa 39+2 = 41 visszapattanási érték. Ezt a 29-41 visszapattanási érték közötti érvényességi tartományt a tűrés közelítő arányosításával (25/80 ~ 1/2, tehát ±1 tűrés alkalmazásával) 30-40 közötti visszapattanási értékre csökkenthetjük.

Véleményünk szerint tehát az értékelés „2. lehetősége" során az alapgörbét a ($\Delta f = \delta f_{m(n)} - t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$) értékkel kell eltolni, ahol $\delta f_{m(n}$ a ($\delta f = f_{is} - f_R$) *szilárdság különbségek átlaga*, $t_{9,95\%}$ az 5 %-os alulmaradáshoz tartozó *Student*-tényező 9 vizsgálati értékpár esetén, $s_{\delta f}$ pedig a *δf szilárdság különbségek szórása*. *Ez az eltolt görbe a szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje.* Tényleges építmény-beton vizsgálata során az így eltolt 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéről leolvasott szilárdságokat a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakockák kellő biztonsággal meghatározott egyedi nyomószilárdságának tekintjük, amelyeket – bár, mint már említettük, az átszámításról az MSZ EN 13791:2007 szabvány nem szól – át kell számítani (*31. ábra*) a végig víz alatt tárolt próbatestek egyedi nyomószilárdságára (f_{ci}), majd ezt követően meg kell határozni ezek átlagát ($f_{cm,R}$) és szórását (s_R), továbbá az építmény-beton nyomószilárdságának jellemző értékét ($f_{ck,R} = f_{cm,R} - t_{n,95\%} \cdot s_R$), amelyhez a könyvünk *31. táblázata* szerinti, az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-tényezőt ($t_{n,95\%}$) vagy a *37. táblázat* szerinti, az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázatnak „»V« ismeretlen"sorát használjuk. Az $f_{cm,R}$, $f_{ck,R}$ és s_R jelekben az *R*

indexszel arra utalunk, hogy a nyomószilárdságot például a *Schmidt*-kalapácsos visszapattanási értékből határoztuk meg.

Nézzünk példát az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.3. szakasza szerinti becslő alapgörbe eltolására (*36. táblázat* és *33. ábra*), azaz az értékelés „2. lehetőségére”. Legyenek a vizsgálat alapadatai az összetartozó R – $f_{is,cyl,100}$ értékpárok, ahol R a vizsgálati helyeken (összesen 9 darab) mért egyes korrigált visszapattanási értékek és $f_{is,cyl,100}$ a hozzájuk tartozó 100 mm átmérőjű, 100 mm hosszúságú fúrt magminta nyomószilárdsága (MSZ EN 13791:2007 szabvány szerint: $f_{is,cyl,100} = f_{c,cube,H}$). A *33. ábra* jelöléseivel a fúrt magminta nyomószilárdságának (2. görbe) és az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.3.3. szakaszának 2. ábrája szerinti becslő alapgörbe (1. görbe) adott vizsgálati helyhez tartozó értékének különbsége δf (4. görbe). Példánkban a δf szilárdság különbségek átlaga: $\delta f_{(m)n}$ = 10,34 N/mm^2, a szilárdság különbségek szórása: $s_{\delta f}$ = 2,12 N/mm^2. A *33. ábrán* a 3. jelű görbe a fúrt magmintákon mért nyomószilárdságok trendgörbéje. Az 5 %-os alulmaradási tágasságot a *Student*-tényezővel határoztuk meg, értéke példánkban, 9 vizsgálati eredmény esetén: $t_{9,95\%}$ = 1,86. Példánkban először két esetet vizsgálunk meg:

– az MSZ EN 13791:2007 szabvány 2. ábrája szerinti becslő alapgörbét (példánk *33. ábráján* az 1. görbét) a szilárdság különbségek $\delta f_{(m)n}$ = 10,34 N/mm^2 átlagával (*33. ábrán* és *36. táblázatban* a 4. görbe) toljuk felfele, amelynek eredményeképpen a *33. ábra* és *36. táblázat* 5. görbéjét kapjuk;
– az MSZ EN 13791:2007 szabvány 2. ábrája szerinti becslő alapgörbét (példánk *33. ábráján* és *36. táblázatában* az 1. görbét) a szilárdság különbségek $\delta f_{(m)n}$ = 10,34 N/mm^2 átlagának a szilárdság különbségek szórásával ($s_{\delta f}$ = 2,12 N/mm^2) és a $t_{9,95\%}$ = 1,86 értékű *Student*-tényezővel számított 5 %-os alulmaradási tágassággal ($t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$ = 3,94 N/mm^2) csökkentett értékével ($\Delta f = \delta f_{m(n)} - t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$ = 10,34 – 3,94 = 6,40 N/mm^2) toljuk felfele, melynek eredményeképpen a *33. ábra* és *36. táblázat* 6. görbéjét kapjuk. *Ez az a görbe a szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje, amelyet javaslatunk értelmében a magmintaszilárdságok meghatározásával kombinált roncsolásmentes vizsgálat során a vizsgálati eredmények MSZ EN 13791:2007 szabvány szerinti értékelésének „2. lehetősége” esetén alkalmazni kell.*

  Tényleges építmény-beton vizsgálata során az így eltolt, a szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéjéről leolvasott szilárdságok a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakockák kellő biztonsággal meghatározott egyedi nyomószilárdsága, amelyet át kell számítani (*31. ábra*) a végig víz alatt tárolt próbatestek egyedi nyomószilárdságára (f_{ci}), majd ezt követően meg kell határozni ezek átlagát ($f_{cm,R}$) és szórását (s_R), továbbá az építmény-beton nyomószilárdságának jellemző értékét ($f_{ck,R} = f_{cm,R} - t_{n,95\%} \cdot s_R$).

A *33. ábrán*, illetve a *36. táblázatban* látszik, hogy ha az MSZ EN 13791:2007 szabvány szerinti becslő alapgörbét

– a szilárdság különbségek átlagával ($\delta f_{(m)n}$ = 10,34 N/mm^2) toljuk felfele, akkor az alapgörbével párhuzamos olyan eltolt görbét (*33. ábrán* és *36. táblázatban* az 5. görbe) kapunk, amely felett az $f_{is,cyl,100}$ nyomószilárdságoknak, illetve az eltolt görbéről leolvasott f_R szilárdságoknak és az eltolt görbéről leolvasott szilárdságokhoz tartozó szilárdság különbségeknek (δf) nagy valószínűséggel a fele, és amely alatt a másik fele helyezkedik el. Tehát a szilárdság különbségek átlagával eltolt alapgörbe egy 50 %-os kvantilis görbe, más szóval az *50 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási középgörbe*;

– a szilárdság különbségek átlagának a szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási tágasságával csökkentett értékével ($\Delta f = \delta f_{m(n)} - t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f} = 10{,}34 - 3{,}94 = 6{,}40$ N/mm^2) toljuk felfele, akkor az alapgörbével párhuzamos olyan eltolt görbét (*33. ábrán* és *36. táblázatban* a 6. görbe) kapunk, amely felett az eltolt görbéről leolvasott f_R szilárdságokhoz tartozó szilárdság különbségeknek (δf) nagy valószínűséggel a 95 %-a, és amely alatt az 5 %-a helyezkedik el. Tehát a szilárdság különbségek átlaga és a szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási tágassága különbségével eltolt alapgörbe a szilárdság különbségek 5 %-os kvantilis görbéje, más szóval a *szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje. Ezt alkalmazzuk az MSZ EN 13791:2007 szabvány szerinti építmény-beton értékelés „2. lehetősége" esetén*. Az erről a vonatkoztatási görbéből leolvasott érték a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakocka – visszapattanási értékhez tartozó – egyedi szilárdsága, amelyet át kell számítani (*31. ábra*) a végig víz alatt tárolt próbatestek egyedi nyomószilárdságára (f_{ci}), majd meg kell határozni ez utóbbiak átlagát ($f_{cm,R}$) és szórását (s_R), valamint az építmény-beton nyomószilárdságának az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó jellemző értékét ($f_{ck,R} = f_{cm,R} - t_{n,95\%} \cdot s_R$).

– Fentiekben a vonatkoztatási görbét úgy szerkesztettük meg, hogy a $\delta f_{m(n)}$ középgörbét a $t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$ alulmaradási tágassággal transzformáltuk (önmagával párhuzamosan lefele toltuk), ahol $s_{\delta f}$ a ($\delta f = f_{is} - f_R$) szilárdság különbségek szórása. Az érdekesség kedvéért megnéztük, hogy hova esik a vonatkoztatási görbe, ha nem a szilárdság különbségek $s_{\delta f}$ szórásával, hanem a magmintaszilárdságok s_{fis} szórásával számolunk, amely értéke példánkban s_{fis} = 4,64 N/mm^2:

– egyszer úgy, hogy az értékelés 1. lehetőségének módszerét követve a *10 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó vonatkoztatási görbét szerkesztjük meg* a 9 vizsgálati eredményhez és a 10 %-os alulmaradási hányad tartozó *Student*-tényező ($t_{9,90\%}$ = 1,397) alkalmazásával. A vonatkoztatási görbe megszerkesztéséhez használt 9 darab magmintaszilárdság 10 %-os alulmaradási tágassága példánkban: $t_{9,90\%} \cdot s_{fis} = 1{,}397 \cdot 4{,}64 = 6{,}48$ N/mm^2. A *33. ábra* így előállított 7. jelű görbéje a vonatkoztatási görbe megszerkesztéséhez használt magmintaszilárdságok 10 %-os kvantilis görbéje, más szóval e 9 darab magmintaszilárdság *10 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje*. A *33. ábrán* jól látni, hogy a szilárdság különbségek 95 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje (6. jelű görbe) magasabban fut, mint a magmintaszilárdságok 90 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje (7. jelű görbe), amely utóbbival a továbbiakban nincs teendőnk;

– egyszer pedig úgy, hogy az 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbét szerkesztjük meg, szintén az s_{fis} szórással. A vonatkoztatási görbe megszerkesztéséhez használt 9 darab magmintaszilárdság 5 %-os alulmaradási tágassága példánkban: $t_{9,95\%} \cdot s_{fis} = 1{,}86 \cdot 4{,}64 = 8{,}63$ N/mm^2. A *33. ábra* így előállított 8. jelű görbéje a vonatkoztatási görbe megszerkesztéséhez használt magmintaszilárdságok 5 %-os kvantilis görbéje, más szóval e 9 darab magmintaszilárdság *5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje*. A *33. ábrán* jól látni, hogy a szilárdság különbségek 95 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje (6. jelű görbe) sokkal magasabban fut, mint a magmintaszilárdságok 95 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje (8. jelű görbe), amely utóbbival a továbbiakban szintén nincs semmi teendőnk.

A *36. táblázat* és a *33. ábra* számpéldájában látjuk, hogy az alapgörbéről (jele: 1)) vagy az eltolt görbékről (jelük: 5), 6), 7), 8)). – az adott, az alapgörbe eltolásához használt értékpárokhoz tartozó – leolvasott nyomószilárdságok szórása (példánkban s_{EN} = 5,08 N/mm^2) ugyanakkora, azaz független az alapgörbe eltolásának mértékétől, és általában eltér az alapgörbe eltolásához felhasznált magmintaszilárdságok szórásától (példánkban s_{fis} = 4,64 N/mm^2). Adott tényleges vizsgálat alkalmával az eltolt görbén (vonatkoztatási görbén) leolvasott nyomószilárdság értékek száma a roncsolásmentes vizsgálati helyek besűrítése révén természetesen több is lehet, mint kilenc, és ebben az esetben az eltolt görbén leolvasott nyomószilárdságok szórása is minden bizonnyal el fog térni az alapgörbe eltolásához használt értékpárokhoz tartozó, leolvasott nyomószilárdságoknak a szórásától.

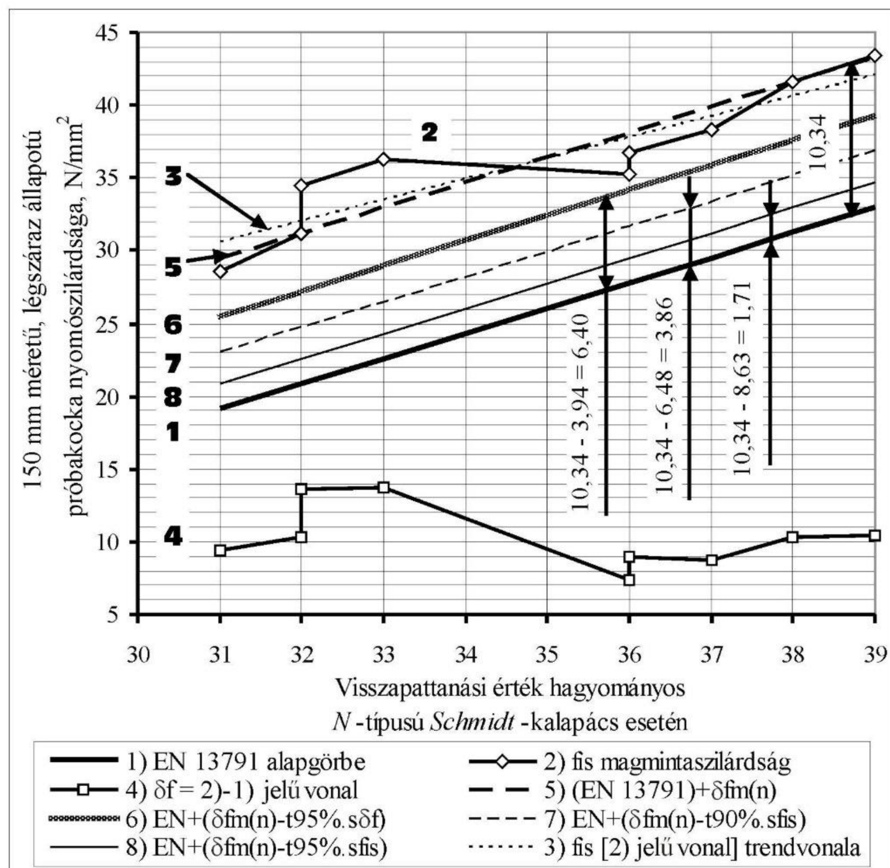
36. táblázat: Példa az MSZ EN 13791:2007 szabvány szerinti becslő alapgörbe eltolására fúrt magmintán és *N*-típusú *Schmidt*-kalapáccsal végzett vizsgálat esetén, a *Student*-tényező alkalmazásával. E táblázat adatai alapján szerkesztett görbék a *33. ábrán* láthatók

Vissza-pattanási mérték R	MSZ EN 13791 szerinti *alapgörbe*	f_{is} = $f_{is,cyl,100}$ = $f_{c,cube,H}$ magminta-szilárdság	δf szilárdság különbség	MSZ EN 13791 szerinti alapgörbe +			
				$\delta f_{m(n)}$	$\delta f_{m(n)} - t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$	$\delta f_{m(n)} - t_{9,90\%} \cdot s_{fis}$	$\delta f_{m(n)} - t_{9,95\%} \cdot s_{fis}$
					$t_{9,95\%}$ = 1,86	$t_{9,90\%}$ = 1,397	$t_{9,95\%}$ = 1,86
	N/mm^2						
	Görbe jele						
	1)	2)	4) = 2) – 1)	5) = 1) + 10,34	6) = 1) + 6,40	7) = 1) + 3,86	8) = 1) + 1,71
31	19,1	28,6	9,5	29,5	25,5	23,0	20,8
32	20,9	31,2	10,3	31,2	27,3	24,7	22,6
32	20,9	34,5	13,6	31,2	27,3	24,7	22,6
33	22,6	36,3	13,7	32,9	29,0	26,4	24,3
36	27,8	35,2	7,4	38,1	34,2	31,6	29,5
36	27,8	36,7	8,9	38,1	34,2	31,6	29,5
37	29,5	38,3	8,8	39,9	35,9	33,4	31,2
38	31,2	41,6	10,4	41,6	37,6	35,1	32,9
39	33,0	43,4	10,4	43,3	39,4	36,8	34,7
Átlag	25,86	$f_{is,m}$ = $f_{cm,cube,H}$ = 36,20	$\delta f_{m(n)}$ = *10,34* = 36,20 – 25,86	$f_{is,m}$ = $f_{cm,cube,H}$ = 36,20 = 25,86 + 10,34	32,26 = 25,86 + 6,40 = 36,20 – 3,94	29,72 = 25,86 + 3,86 = 36,20 – 6,48	27,57 = 25,86 + 1,71 = 36,20 – 8,63
Szórás	s_{EN} = 5,08	s_{fis} = 4,64	$s_{\delta f}$ = 2,12	s_{EN} = 5,08	s_{EN} = 5,08	s_{EN} = 5,08	s_{EN} = 5,08
Alulmaradási tágasság		$t_{9,95} \cdot s_{fis}$ = 8,63			A középgörbe eltolásához alkalmazott érték		
					$t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$ = 3,94	$t_{9,90\%} \cdot s_{fis}$ = 6,48	$t_{9,95\%} \cdot s_{fis}$ = 8,63
Küszöb érték		$f_{is,k}$ = $f_{is,m} - t_{9,95} \cdot s_{fis}$ = 27,57		Szilárdság különbségek (δf)		Magmintaszilárdságok (f_{is}) szórása (s_{fis})	
Megjegyzés: - A görbék jelei a *33. ábra* jeleit követik. - A *33. ábrán* a f_{is} magmintaszilárdságok trendvonalát 3) jellel jelöltük, ennek értékeit ez a táblázat nem tartalmazza. - Javaslatunk szerint a 6) jelű görbét kell alkalmazni.				átlagával ($\delta f_{m(n)}$) eltolt 50 %-os alulmaradási hányadú	szórása ($s_{\delta f}$) alapján eltolt 5 %-os alulmaradási hányadú	alapján eltolt 10 %-os alulmaradási hányadú	alapján eltolt 5 %-os alulmaradási hányadú
				középgörbe	vonatkoztatási görbe		

– Az értékelés **„3. lehetősége”** a magminták segítségével végzett közvetlen vizsgálat, amellyel az MSZ EN 13791:2007 szabvány 7. fejezete foglalkozik, és amelynek eredményét a szabvány szerint a feljebb tárgyalt „A” vagy „B” módszerrel kell értékelni.

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.2 szakasza (nemzeti alkalmazási kiegészítés) szerint a magminták nyomószilárdságát légszáraz állapotban kell meghatározni, és ennek az állapotnak az eléréséhez a magmintákat a vizsgálat előtt legalább 12 órán át kell laboratóriumi levegőn tárolni. A laboratóriumi levegőn tárolt 100 mm, illetve 150 mm névleges átmérőjű magminták

nyomószilárdsága azonosnak vehető a víz alatt tárolt 150 mm élhosszúságú próbakockák nyomószilárdságával, az 50 mm átmérőjűeké azok 1/0,9-szeresével.



33. ábra: Példa az MSZ EN 13791:2007 szabvány 2. ábrája szerinti becslő alapgörbe eltolására fúrt magmintán és *N*-típusú *Schmidt*-kalapáccsal végzett vizsgálat esetén, a *36. táblázat* adatai alapján

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.4 szakasza szerint a beton tényleges helyi nyomószilárdságát két magminta segítségével is meg lehet határozni.

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.5 szakasza *a Schmidt-kalapácsos vizsgálati eredmények magmintaszilárdság nélküli értékelését tárgyalja*, és az NA.2 táblázatban összefüggést ad a visszapattanási érték megkövetelt mediánja (a sorba rendezett adatok közül a középső érték, vagy a két középső érték átlaga) és a beton nyomószilárdsági osztálya között. Az egyedi vizsgálati helyen mért visszapattanási értékek (legalább 9 ütés) középértékeként az EN 12504-2:2012 (MSZ EN 12504-2:2013) szabvány is az átlag helyett a mediánt használja. Matematikusok szerint a medián a kilógó adatokkal szembeni kis érzékenysége miatt jobban jellemzi a nem normális eloszlásokat, mint az átlag. A DIN EN 13791:2008 szabvány német nemzeti alkalmazási kiegészítése szerint a *Schmidt*-kalapácsos roncsolásmentes vizsgálat módszer tűz, fagy vagy kémiai hatás károsította felületek vizsgálatára nem alkalmas.

Közbevetőleg megjegyezzük, hogy például a visszavont MSZ 4715-5:1972 szabvány, a visszavont MI-07-3318:1986 közlekedési ágazati műszaki irányelv, a visszavont MI 15011:1988 műszaki irányelv, az érvényben lévő ÚT 2-2.204:1999 (e-UT 09.04.11) útügyi műszaki előírás is lehetővé tette, illetve teszi a nyomószilárdság *Schmidt*-kalapáccsal történő meghatározását magminták vizsgálata nélkül.

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.6 szakasza módszert ad a *Schmidt*-kalapácsos visszapattanási érték és a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakocka

nyomószilárdsága közötti összefüggés meghatározására, amely a DIN 1048-4:1991 szabványban is megtalálható. A próbakockát 2,5 N/mm^2 nyomással be kell fogni a szilárdság vizsgáló gépbe, és a próbakocka két szemben lévő oldalán, az élektől legalább 30 mm, a kockaközépponttól legalább 25 mm távolságra végzett 4-5 ütésből (összesen legalább 9 ütésből) meghatározott visszapattanási medián értéket – mint egy vizsgálati eredményt kell párba állítani a nyomószilárdsággal. Az összefüggés felírásához legalább 10 próbakocka vizsgálati eredményére van szükség. A nyomószilárdság vizsgálati eredmények terjedelme legalább 20 N/mm^2 és általában legfeljebb 30 N/mm^2 legyen.

A DIN EN 13791:2008 szabvány NA.4.6. szakasza szerint valamely próbakockán meghatározott visszapattanási medián értékhez (R_m) tartozó, 150 mm élhosszúságú próbakockára vonatkoztatott nyomószilárdság (cal f_c) a következő összefüggéssel határozható meg:

$$\text{cal } f_c = f_{cm} + r_{fR} \cdot s_f / s_R \cdot (R_m - R_{mm})$$

ahol:

f_{cm}	a próbakockák nyomószilárdságának átlagértéke
s_f	a próbakockák nyomószilárdságának szórása
s_R	a visszapattanási értékek szórása
R_{mm}	valamennyi próbakocka visszapattanási értékének mediánja
r_{fR}	a korrelációs együttható:

$$r_{fR} = \frac{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{1}^{n} (R_m - R_{mm}) \cdot (f_c - f_{cm})}{s_R \cdot s_f}$$

A korrelációs együtthatónak (r) a próbakockák számától (n) függő, megkövetelt értékét a DIN EN 13791:2008 szabvány NA.3. táblázata tartalmazza, n = 10 esetén legalább r = 089.

Az építmény betonja nyomószilárdságának vizsgálatát és értékelését a DIN EN 13791:2008 szabvány alapján, számpéldát is bemutatva, *Wöhnl* folyóirat cikke (2009) ismerteti.

A német közlekedési minisztérium (Bundesministerium für Verkehr) 2011-ben irányelvet (Nachrechnungsrichtlinie) adott ki azoknak a régi közúti hidaknak a mai állapotukban való újraméretezésére, amelyeket nem a jelenlegi szabványok szerint terveztek és építettek:

– A német „Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken” irányelv (2011) 17.1 szakasza szerint az anyagjellemzőket kísérleti (tapasztalati, experimentális) módszerrel kell meghatározni. Az anyagtulajdonságok karakterisztikus (jellemző) értékét (X_k) a DIN EN 1990 szabvány (megfelelője: MSZ EN 1990:2011 Eurocode) szerinti 5 %-os alulmaradási hányaddal kell kiszámítani: $X_k = X_m \cdot (1 - k_n \cdot V) = X_m - k_n \cdot s$, ahol X_m az átlagérték, k_n az alulmaradási tényező, $V = s/X_m$ a variációs tényező (variációs együttható, vagy relatív szórás), s a tapasztalati szórás. Ha a variációs tényezőről vannak előzetes adataink, akkor a „V ismert”, ha nincsenek, akkor a „V ismeretlen” variációs tényezőhöz tartozó k_n alulmaradási tényezővel kell számolni (*37. táblázat*).

– A régi közúti hidak német újraméretezési irányelve 17.3.1 szakaszának (1) bekezdése szerint a hídszerkezet vagy szerkezeti elem betonjának nyomószilárdságát olyan vizsgálati egységekben (Prüfbereich) kell meghatározni, amelyekről tudható vagy feltételezhető, hogy ugyanabból a betonból (Grundgesamtheit) készült.

– A 17.3.1 szakasz (2) bekezdés szerint a hídszerkezet betonjának nyomószilárdságát közvetlenül a fúrt magminták DIN EN 12504-1:2009 szabvány szerinti

nyomószilárdságából, vagy közvetetten a DIN EN 12504-2:2001 szabvány szerinti *Schmidt*-kalapácsos visszapattanási értékből kell meghatározni.

– A (3) bekezdés szerint a nyomószilárdság és a visszapattanási érték közötti összefüggést (Beziehung) a magmintaszilárdság alapján a DIN EN 13791:2008 szabvány 8.2 szakasza (közvetett módszer, ún. „1. lehetőség”) vagy 8.3 szakasza (közvetett módszer, ún. „2. lehetőség”) szerint fel kell írni (ist zu kalibrieren). Megjegyzés: Az „1. lehetőség” alapján az összefüggés együtthatóit a legkisebb hibanégyzetek módszere szerint regresszió számítással kell meghatározni. Alkalmazásához legalább 18 vizsgálati értékpár szükséges. A „2. lehetőség” alapján az összefüggés szabványos görbéjét a magminta vizsgálattal meghatározott mértékben el kell tolni. Alkalmazásához legalább 9 vizsgálati értékpár szükséges. Csak azok az értékpárok értékelhetők együtt, amelyeket feltehetően egyazon betonhoz tartozó vizsgálati helyeken határoztak meg.

37. táblázat: Alulmaradási tényező (k_n) a DIN EN 1990:2002 (MSZ EN 1990:2011) szabvány D1. táblázata szerint

Próbatestek száma, *n*	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
„*V* ismert”	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
„*V* ismeretlen”			3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Megjegyzés:
1) A „Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken” irányelv (2011) 17.1 szakasza szerint a régi hídszerkezet betonja nyomószilárdságának karakterisztikus (jellemző) értékét a „*V* ismeretlen” variációs tényezőnek megfelelő k_n alulmaradási tényezővel kell meghatározni.
2) Az adatokat a tapasztalati szórással és normális eloszlás feltételezésével határozták meg.
3) A karakterisztikus (jellemző) értéket a táblázat szerinti „*V* ismeretlen” esethez tartozó alulmaradási tényezővel (k_n) kissé nagyobb biztonsággal lehet meghatározni, mint ismeretlen szórás esetén az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-tényezővel.
4) A DIN EN 1990:2002 szabvány (MSZ EN 1990:2011) „D” melléklete tájékoztatás.
5) *A 37. táblázat* adatairól annyit tudunk, hogy
   – a „*V* ismert” sor adatait $(n/(n+1))^{0,5}$ tényezővel megszorozva, minden szorzat eredménye – a kerekítési eltérésektől eltekintve – 1,645, amely a *Gauss*-eloszlás 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó alulmaradási tényezője.
   – a „*V* ismeretlen” sor adatait $(n/(n+1))^{0,5}$ tényezővel megszorozva, minden szorzat eredménye – a kerekítési eltérésektől eltekintve – az *n* próbatest számhoz tartozó *Student*-tényezőt adja.
   – ha $n \rightarrow \infty$, akkor $(n/(n+1))^{0,5} \rightarrow 1,0$.

– A (4) bekezdés szerint a visszapattanási értékeket a beton nyomószilárdságának kiszámítására csak akkor szabad használni, ha azok a magmintaszilárdsággal korrelálnak. A korreláció szükséges mértékére a DIN EN 13791:2008 szabvány német nemzeti függeléke ad meg követelményt (Tabelle NA.3).

– A német irányelv 17.3.1 szakaszának (5) bekezdése szerint a fúrt beton magminta átmérője legalább 100 mm, a hosszúság/átmérő aránya pedig 2,0 legyen, mert így a magminta nyomószilárdsága megfelel a DIN-Fachbericht 102:2009 jelentés szerinti szabványos hengerszilárdságnak. A (6) bekezdés szerint a hídszerkezeti elem betonnyomószilárdsága karakterisztikus (jellemző) értékének ($f_{ck,BW}$) közvetlen meghatározásához legalább öt fúrt magmintára, a (7) bekezdés szerint az $f_{ck,BW}$

karakterisztikus (jellemző) érték közvetett meghatározásához 15 darab *Schmidt*-kalapácsos mérési helyre van szükség.

– Ugyanezen szakasz (8) bekezdése szerint a hídszerkezet (Brückenbauwerk) betonja nyomószilárdságának karakterisztikus (jellemző) értékét ($f_{ck,BW}$) a közvetlen vagy közvetett vizsgálatok eredményéből a 17.1 szakasz szerinti „*V* ismeretlen” („*V* unbekannt”, *V* = variációs tényező) esetnek megfelelő módszerrel kell meghatározni. A DIN EN 13791:2008 európai szabvány „A” és „B” szerinti eljárását a vizsgálati eredmények értékelésére használni nem szabad, és a betont nyomószilárdsági osztályba sorolni nem szükséges.
– A (9) bekezdésben az olvasható, hogy a hídszerkezet (Brückenbauwerk) betonnyomószilárdsága karakterisztikus (jellemző) értékének ($f_{ck,BW}$) (8) bekezdés szerinti meghatározása során csak a (3) bekezdés szerinti összefüggés felírása (Kalibrierung) után szabad a közvetlen és a közvetett módon megállapított nyomószilárdságok kombinációját elvégezni. Megjegyzés: Ezt a mondatot úgy értelmezzük, hogy a hídszerkezet betonja nyomószilárdságának értékelését nem szabad a közvetett vizsgálati eredményekhez tartozó magmintaszilárdságok alapján, hanem csak a felírt összefüggésből (kalibrálás) – a közvetett vizsgálati eredményeknek megfelelő helyeken – leolvasott nyomószilárdságok (kombináció) alapján szabad elvégezni.
– A régi közúti hidak német újraméretezési irányelve 17.3.1 szakaszának (10) bekezdése szerint a rugalmassági modulus és a húzószilárdság értékét a DIN-Fachbericht 102:2009 jelentés alapján a nyomószilárdság karakterisztikus (jellemző) értékéből le lehet vezetni vagy ezek meghatározására további vizsgálatokat kell végezni.

Az ETAG (Guideline for European Technical Approval) az európai műszaki engedély (ETA) útmutatója. Az ETA (European Technical Approval) európai műszaki engedély az építési termék alkalmazhatóságát igazoló okirat, amelyet vizsgálatok, kísérletek eredményei és a kijelölt tanúsító szervezet értékelése alapján adtak ki olyan termékekre, amelyeknek még nem volt harmonizált szabványa, vagy tulajdonságaik a harmonizált szabványtól eltértek. A termék használhatóságának az értékelését vagy az európai műszaki engedély útmutatója (ETAG) szerint – amelyet a műszaki engedélyeknek a termék vonatkozásában illetékes európai szervezete (EOTA, European Organisation for Technical Approvals) adott ki –, vagy más EOTA-k értékelési feltételei szerint végezték. Az európai műszaki engedély feljogosította a gyártót, hogy a terméket CE-jellel lássa el. Az európai műszaki engedély (ETA) szerepét az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU számú rendeletének értelmében napjainkban az európai műszaki értékelés tölti be.

A betontermékekhez alkalmazott rögzítő elemekre vonatkozó ETAG európai műszaki engedély útmutatókban (például: ETAG 001:2008, ETAG 020:2006) a 200 mm élhosszúságú, illetve a 150 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdságát ($f_{c,cube,200}$, illetve $f_{c,cube,150}$) az 1/1 átmérő/hosszúság arányú, 100 mm vagy 150 mm átmérőjű magminta nyomószilárdságából ($f_{ci,core,100}$, $f_{c,core,150}$) a következő összefüggéssel számítják ki: $f_{ci,cube,200} = 0{,}95 \cdot f_{ci,cube,150} = f_{ci,core,100} = f_{c,core,150}$ (a 100 mm és a 150 mm átmérőjű magminták nyomószilárdságát azonosnak veszik).

Az MSZ EN 13369:2004 szabvány az előregyártott betonelemekből fúrt magminta hengerek szilárdság vizsgálatával (MSZ EN 12504-1:2009) és a vizsgálati eredmények értékelésével is foglalkozik. Az MSZ EN 13369:2004 szabvány 5.1.1. szakasza szerint a lecsiszolt véglapokkal rendelkező, 100 mm és 150 mm közötti átmérőjű, 1/2 átmérő/hosszúság arányú fúrásmag nyomószilárdsága egyenlő a 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahenger szilárdságával, ha azok ugyanazon körülmények között szilárdultak. Más méret esetén

átszámítási tényezőt kell alkalmazni. 50 mm-nél kisebb átmérőjű fúrásmagot nem szabad használni. Közvetett szilárdság vizsgálat (például *Schmidt*-kalapácsos visszapattanás vagy ultrahang terjedési sebesség) esetén a vizsgálati eredmények és a magminta nyomószilárdságok közötti összefüggést kísérlettel kell meghatározni. Az MSZ EN 13369:2004 szabvány H. melléklete (tájékoztatás) szerint az előregyártott betonelemekből fúrt magminta hengerek véglapjait a nyomószilárdság vizsgálat előtt le kell csiszolni. Ha a magminta h hosszúsága nem kisebb, mint $h = 0{,}7 \cdot d$ – ahol d a magminta átmérője –, akkor a 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahenger $f_{c,cyl}^{\circ}$ nyomószilárdságára az ugyanolyan korú magminta henger $f_{c,is,cyl}$ nyomószilárdságából a következő összefüggéssel lehet következtetni:

$$f_{c,cyl}^{\circ} = f_{c,is,cyl} / \{1{,}2 - 0{,}2 \cdot [1 - e^{-1{,}7 \cdot (h/d-1)}]\}$$

Az MSZ EN 13369:2004 szabvány tájékoztató jellegű B. fejezete *a 28 naposnál fiatalabb beton* nyomószilárdságának értékelésével foglalkozik. A B1. fejezetben a vizsgálathoz a folyó termelésből három héten át naponta egy-két mintát tartanak szükségesnek. A szilárdság vizsgálati eredményeket statisztikailag kell értékelni ahhoz, hogy a jellemző értéket a gyártási folyamatra lehessen vonatkoztatni. A B2. fejezet szerint a szerkezeti elem betonjának nyomószilárdsága akkor megfelelő, ha két fúrt magminta esetén azok 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahengerre átszámított $f_{c,cyl}^{\circ}{}_1 \leq f_{c,cyl}^{\circ}{}_2$ nyomószilárdsága teljesíti a következő feltételeket:

$\alpha \cdot f_{c,cyl}^{\circ}{}_1 \geq f_{k,cyl}$ és $\alpha \cdot (f_{c,cyl}^{\circ}{}_1 + f_{c,cyl}^{\circ}{}_2)/2 \geq f_{m,cyl} - 3{,}0$

ahol:

$f_{k,cyl}$	a 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú, víz alatt tárolt próbahengeren, a vizsgálat napján (legfeljebb 28 napos korban) meghatározott nyomószilárdság jellemző (karakterisztikus) értéke
$f_{m,cyl}$	a 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú, víz alatt tárolt próbahengeren, a vizsgálat napján (legfeljebb 28 napos korban) meghatározott átlagos nyomószilárdság
α	= 1/0,85, ha az $f_{cm,cyl}$ és az $f_{ck,cyl}$ értékét közvetlen nyomószilárdság vizsgálattal (MSZ EN 12390-2:2009, MSZ EN 12390-3:2009) és α = 1, ha közvetett nyomószilárdság vizsgálattal határozzák meg

Az MSZ EN 13369:2004 szabvány B3. fejezetében a megfelelőség ismérveit tárgyalják. Eszerint, ha valamely napon az $\alpha \cdot f_{k,cyl} \geq f_{ck,cyl}$ feltétel nem teljesül, akkor az aznapi termelést félre kell tenni, és meg kell várni a 28 napos vizsgálat eredményét. A 28 napos szilárdságot statisztikailag kell a B1. fejezet szerint meghatározni, és szükség esetén három magminta kifúrásával ellenőrző magminta vizsgálatot kell végezni. Az ellenőrző vizsgálat eredménye kielégítő, ha $(f_m - \Delta f)/1{,}2 \geq f_{cd}/\alpha_{cc}$, ahol f_m a magminták 28 napos átlagos nyomószilárdsága, $\Delta f \geq 2{,}0$ N/mm^2 a magminták 28 napos nyomószilárdságának terjedelme, f_{cd} a beton nyomószilárdságának szabványos tervezési értéke 28 napos korban és α_{cc} a tartós szilárdsági tényező.

A DIN V 20000-120:2006 előszabvány a DIN EN 13369:2004 európai szabvány német alkalmazási dokumentuma. Ebben a csak Németországban érvényes előszabványban a DIN EN 13369:2004 európai szabvány 5.1.1. szakaszának bekezdéseit – a szabványhivatkozások kivételével – megjegyzésbe tették, a H. mellékletet érvénytelenítették, a B2. fejezet szövegét a „A magminták nyomószilárdság vizsgálata tekintetében a DIN EN 12504-1 szabvány az E DIN EN 13791 szabvánnyal érvényes.” mondatra cserélték ki, és az E DIN EN 13791 szabványra hivatkozva hasonlóan jártak el a B3. fejezet esetén is. Tehát a MSZ EN 13369:2004 szabvány hazánkban érvényben lévő B2. és B3. fejezete, valamint H. melléklete Németországban érvénytelen.

Az MSZ EN 12504-1:2009 szabvány 7.1. szakasza szerint a fúrt magmintákat nyomószilárdság vizsgálat előtt az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány A. melléklete szerint kell előkészíteni. A 7.2. szakasz szerint a 2/1 hosszúság/átmérő arányú magminta nyomószilárdsága a 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahenger, az 1/1 hosszúság/átmérő arányú magminta nyomószilárdsága a 150 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdságával vethető egybe. A 7.3. szakasz szerint a magminta véglapjai simaságának tűrése csiszolt vagy bauxitcementtel lesimított felület esetén, továbbá a magminta derékszögűségének tűrése az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány előírásának feleljen meg. A magminta alkotója egyenességének tűrése az átlagos átmérő 3 %-a. A tűrés (eltérés) értelmezéséről az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány A. melléklete (előírás) ad tájékoztatást.

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 5.2. szakasza szerint, ha a próbatest mérete vagy alakja nem teljesíti az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány szerinti előírást a tűrésre, akkor a próbatestet el kell különíteni, vagy ki kell egyenlíteni, vagy a B. melléklet feltételei szerint kell megvizsgálni. A nyomott felület egyenetlenségeinek kiegyenlítése az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány A1. szakasza (előírás) szerinti módszerek egyikével történhet, ezek a következők: csiszolás, aluminátcement-habarcsos vagy más, gyorsankötő portlandcement-habarcsos kiegyenlítés, kénhabarcsos kiegyenlítés, homokréteg szekrényes módszer. Vitás esetben a csiszolt felületű próbatesten meghatározott nyomószilárdság a mértékadó. Más felület kiegyenlítő módszert is szabad alkalmazni, ha az a csiszolással egyenértékű. A vízben tárolt próbatestet a vízből legfeljebb egy órával a csiszolás előtt szabad kivenni, és újabb csiszolás vagy vizsgálat előtt legalább egy óra hosszára újból víz alá kell helyezni (A2. szakasz).

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány 6.3. szakasza szerint, ha a próbahenger nyomószilárdság vizsgálata során a kiegyenlítő anyag előbb törik, mint a beton, akkor a vizsgálat nem érvényes.

Az MSZ EN 12390-1:2013 szabvány 4.3.3. szakasza szerint próbahenger esetén a tűrés (eltérés) az átmérőt (d) illetően a szabványos méret ± 0,5 %-a, a nyomott felület egyenletességét illetően $\pm 0{,}0006 \cdot d$, a derékszögűséget illetően 0,5 mm. A 4.3.3. szakasz szerinti előírások csiszolt felület esetén is érvényesek (4.3.4.1. szakasz).

Összegezve: Az építmény, és annak részét képező előregyártott elem betonja nyomószilárdságának – mind közvetlen, mind közvetett vizsgálat alapján történő – értékelése körülményes feladat, mert a szabvány előírások és irodalmi megállapítások nem egységesek, helyenként ellentmondásosak. Ennek tudatában megfogalmazott *javaslataink* a következők:

- A roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálattal meghatározott nyomószilárdság átlagértéke és jellemző (karakterisztikus) értéke a t korú betonnak vizsgálat idején meglévő szilárdsági állapotát fejezi ki, amelyből a beton korábbi (például 28 napos) nyomószilárdságára következtetni nem szabad.
- A vizsgáló mérnök határozza meg a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminták nyomószilárdsága tapasztalati átlagértékét, szórását és jellemző (karakterisztikus) értékét, a biztonsági tényezőt pedig a méretezést végző statikus csökkentse.
- A karakterisztikus (jellemző) érték kiszámításához a *Student*-tényezőt (*31. táblázat*) vagy az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázata szerinti „V ismeretlen” alulmaradási tényezőt (*37. táblázat*), esetleg az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány szerinti $f_{ck} = f_{cm} - 8$ összefüggést használjuk.
- A <u>*t* korú</u> magminták nyomószilárdságából az építmény vagy annak részei betonjának nyomószilárdsági osztályát (például C30/37 nyomószilárdsági jel 28 napos betonra)

nem szükséges kiszámítani, mert az építmény teherbírásának meghatározásához ($f_{cd,t} \leq \alpha_{CC} \cdot 0{,}75 \cdot f_{ck,is,cyl,100,test,t} / \gamma_{C,red4}$) nincs rá szükség.

– A 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminták légszáraz állapotban meghatározott nyomószilárdságának tapasztalati átlagértékéből ($f_{cm,is,cyl,100,test,t}$) a szabványos, 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú, víz alatt tárolt próbahengerek tapasztalati nyomószilárdságának átlagértékét ($f_{cm,cyl,test,t}$) a $f_{cm,cyl,test,t} = 0{,}75 \cdot f_{cm,is,cyl,100,test,t}$ összefüggéssel lehet kiszámítani. Ennek az összefüggésnek a hátterében az a feltételezés áll, hogy a szerkezetből kifúrt 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminták nyomószilárdsága ($f_{c,is,cyl,100,t}$) a velük *„azonos körülmények”* között készített 150 mm élhosszúságú próbakockák nyomószilárdságával ($f_{c,cube,H,t}$) azonos (MSZ EN 13791:2007). Ez az 1:1 méretarányú 150 mm átmérőjű magmintákra is vonatkozik.

– A 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszúságú próbahenger tapasztalati karakterisztikus (jellemző) értékéből ($f_{ck,cyl,test,t}$) a nyomószilárdság tervezési értékét ($f_{cd,t}$) a statikus határozza meg például az $f_{cd,t} \leq (\alpha_{CC}/\gamma_{C,red4}) \cdot f_{ck,cyl,test,t}$ összefüggés segítségével (MSZ EN 1992-1-1:2010).

– A nyomószilárdság meghatározásához törekedni kell a 100 mm átmérőjű és ugyan ilyen hosszú magminták alkalmazására. Ha erre nincs lehetőség, akkor a 100 mm és 150 mm közötti átmérőjű, $1 < h/d \leq 2$ hosszúság/átmérő arányú magminták nyomószilárdságát ($f_{c,is,cyl,Ød/h,test,t}$) az $f_{c,is,cyl,100,test,t} = (0{,}35 \cdot h/d + 0{,}65) \cdot f_{c,is,cyl,Ød/h,test,t}$ összefüggéssel lehet a 100 mm átmérőjű és ugyanilyen hosszú magminta nyomószilárdságára ($f_{c,is,cyl,100,test,t}$) vonatkoztatni. Nem követünk el nagy hibát, ha az összefüggést a legalább 90 mm átmérőjű és $0{,}9 < h/d < 1$ hosszúság/átmérő arányú magminták esetén is alkalmazzuk. Ha $h/d = 2$, akkor a szorzó értéke 1,35 = 1/0,74.

– A roncsolásmentes vizsgálatot az építményen és nem a kifúrt próbahengeren kell végezni.

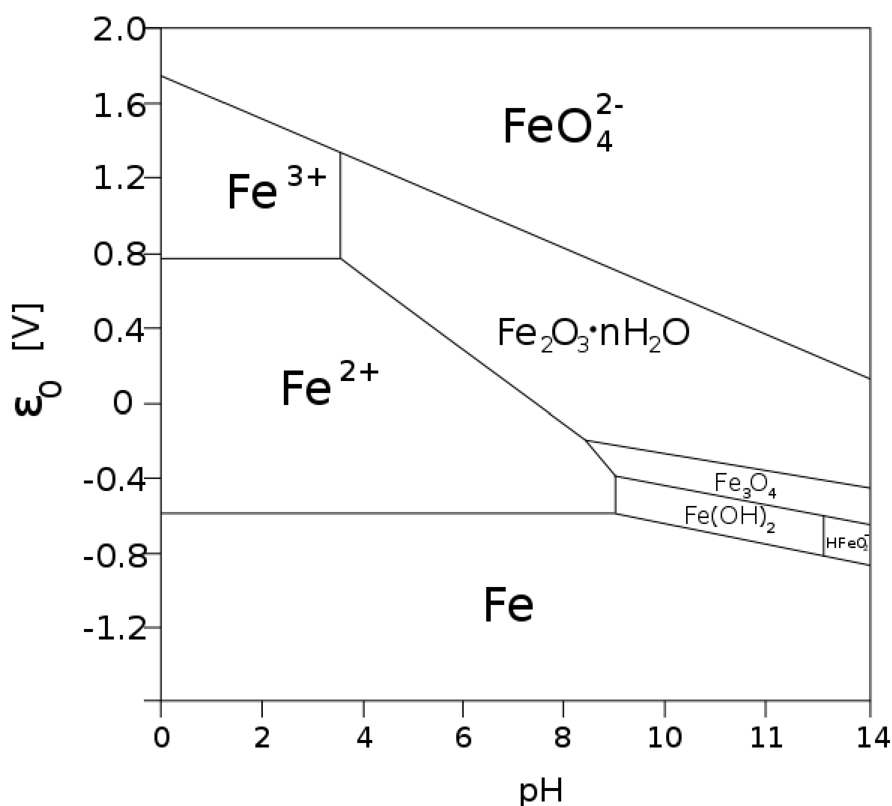
– A magmintaszilárdság vizsgálattal kombinált roncsolásmentes vizsgálat esetén az építmény-beton szilárdság-vizsgálati eredményeknek az MSZ EN 13791:2007 szabvány 8.3. szakasza alatt leírt „2. lehetősége” szerinti értékelése során az alapgörbét a ($\Delta f = \delta f_{m(n)} - t_{9,95\%} \cdot s_{\delta f}$) értékkel kell eltolni, ahol $\delta f_{m(n}$ a ($\delta f = f_{is} - f_R$) *szilárdság különbségek átlaga*, $t_{9,95\%}$ az 5 %-os alulmaradáshoz tartozó *Student*-tényező 9 vizsgálati értékpár esetén, $s_{\delta f}$ pedig a δf *szilárdság különbségek szórása*. Az így eltolt görbe a *szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéje*. Tényleges építmény-beton vizsgálata során az így eltolt, a szilárdság különbségek 5 %-os alulmaradási hányadú vonatkoztatási görbéjéről leolvasott szilárdság a 150 mm élhosszúságú, légszáraz állapotú próbakocka kellő biztonsággal meghatározott egyedi nyomószilárdsága, amelyet át kell számítani (*31. ábra*) a végig víz alatt tárolt próbatest egyedi nyomószilárdságára (f_{ci}), majd ezt követően meg kell határozni ez utóbbi értékek átlagát ($f_{cm,R}$) és szórását (s_R), továbbá az építmény-beton nyomószilárdságának az 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó jellemző (karakterisztikus) értékét ($f_{ck,R} = f_{cm,R} - t_{n,95\%} \cdot s_R$). A jellemző érték számítása során a könyvünk *31. táblázata* szerinti 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó *Student*-tényezőt ($t_{n,95\%}$) vagy a *37. táblázat* szerinti, az MSZ EN 1990:2011 szabvány D1. táblázatának „»V« ismeretlen” sorában található alulmaradási tényezőt kell alkalmazni.

13. ELLENÁLLÁS KÜLSŐ HATÁS OKOZTA VEGYI MÁLLÁSSAL SZEMBEN

13.1. KARBONÁTOSODÁS OKOZTA ACÉLKORRÓZIÓ

A portlandcement hidratációja során le nem kötött kalcium-hidroxid (portlandit) keletkezik, amely a betonnak lúgos kémhatást (pH ~ 13) kölcsönöz. A 12,5-13,5 pH értékű lúgos pórusvíz a betonacél felületén mikroszkopikus vastagságú oxid-réteget, ún. passzívréteget hoz létre. Ez a passzívréteg a betonacél anódos korrózióját gyakorlatilag megakadályozza. A lúgos környezet tehát védi az acélbetétet a korróziótól. Akkor is ez a helyzet, ha a betonacél a betonba ágyazása előtt nem fémtiszta, sőt a kissé rozsdás betonacél felület a tapadás szempontjából még előnyös is.

A vas korróziós hajlamáról a pH-érték függvényében a *Pourbaix*-diagram ad tájékoztatást (*34. ábra*). A *Pourbaix*-féle diagramok a fém-elektrolit rendszerek termodinamikai stabilitásának tartományát derékszögű koordináta-rendszerben ábrázolják, amelynek az abszcisszáján a fémet körülvevő vizes oldat pH-értéke, ordinátáján a fém elektródpotenciálja van feltüntetve. A vas *Pourbaix*-féle diagramjának négy fő tartománya van: a vas Fe^{2+} és Fe^{3+} ionok képződése közben korrodál, vasoxidok termodinamikailag stabil felületi rétege védi a vasat a korróziótól, a vas kis elektródpotenciál mellett termodinamikai okokból nem tud korrodálni, a vas nagyon nagy pH-értékeknél $Fe(OH)_2$-ként mehet tönkre (*Balázs* 1984).

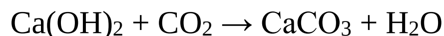


34. ábra: A vas *Pourbaix*-féle diagramja

A cement passziváló hatása a klinkertartalom csökkenésével csökken, de még a csak 20 tömeg% klinkert tartalmazó CEM III/A és CEM III/B fajtájú kohósalakcement esetén is kellő mértékben érvényesül. A portlandcement pernyetartalma a karbonátosodási mélységet a CEM I fajtájú portlandcementtel készített, ugyanolyan nyomószilárdságú beton karbonátosodási mélységéhez képest nem növeli (*Springenschmid* 2007).

Ugyanez nem mondható el a CEM III/C fajtájú kohósalakcementről, amelyiknek a klinkertartalma 20 tömeg% alatt és a kohósalak-tartalma 80 tömeg% fölött van, és a 20 tömeg%-nál több mészkőlisztet tartalmazó CEM II/B-L, illetve CEM II/B-LL fajtájú mészkő-portlandcementről, amelyeket ezért nem szabad vasbetonszerkezetek készítéséhez felhasználni.

A levegővel érintkező beton felületi rétegében a le nem kötött kalcium-hidroxid a levegő széndioxid-tartalmával reakcióba lép, és eleinte kalcium-hidrokarbonáttá, majd vízvesztéssel idővel semleges kémhatású kalcium-karbonáttá (mészkővé) alakul:



$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Ez a jelenség a karbonátosodás, amely a beton vagy a cementhabarcs esetén a kapillárisok elzáródása és a szilárdság növekedése szempontjából kedvező, vasbeton vagy feszített vasbeton esetén viszont a lúgos kémhatás megszűnése folytán az acélbetét korróziója szempontjából kedvezőtlen, mert a folyamat előrehaladtával a karbonátosodott felületi betonréteg lassan eléri az acélbetétet, a pH = 9,0-9,5 érték alatt az acél felületének mikroszkopikus vastagságú oxid-védőrétege megbomlik, és rozsdásodni kezd. Ez adja a vasbetonok és feszített vasbetonok betonfedésének a jelentőségét.

A vas felületén oxigén jelenlétében először vas(II)-hidroxid ($Fe(OH)_2$) képződik, amely vízvesztéssel alakul vörösbarna vas(III)-oxiddá (Fe_2O_3), majd további átalakulással rozsdává ($FeO(OH) \cdot Fe_2O_3$). Az így keletkező rozsda (trivas-tetraoxid-hidroxid, $Fe_3O_4(OH)$) móltérfogata akár 5-6-szorosa is lehet az acélénak, ezért a környező betonra feszítőleg hat. Ez a károsító folyamat is adja többek között a beton tömörségének, a betonfedésnek (*41. ábra*) és az XC környezeti osztályoknak (*17. táblázat*) a jelentőségét.

A karbonátosodás előrehaladásának sebessége eleinte nagyobb, később csökken, mert a betonfedés mélyebb rétege és a beton már karbonátosodott, tömörebb külső kérge a széndioxid behatolását fékezi (*36. ábra*).

A karbonátosodási mélységet (y_{karb}) a karbonátosodási idő (t_{karb}) négyzetgyökének függvényében a *Fick*-féle diffúziós törvény alapján szokták leírni (*Clifton* 1993, *Haag* et al. 1998, *Wittmann* 1993, *Branco – Brito* 2004). Az y_{karb} karbonátosodási mélység a karbonátosodási tényezőnek (k_{karb}) és a beton karbonátosodási ideje (t_{karb}) négyzetgyökének, a k_{karb} karbonátosodási tényező pedig a CO_2 diffúziós együtthatójának a betonban (D_{CO_2}), a levegő CO_2-tartalmának ($c_{1,karb}$) és a beton karbonátosodásához szükséges CO_2 mennyiségének ($c_{2,karb}$) a függvénye:

$$y_{karb} = \sqrt{2 \cdot D_{CO_2} \cdot \frac{c_1}{c_{2,karb}} \cdot t_{karb}} = k_{karb} \cdot \sqrt{t_{karb}}$$

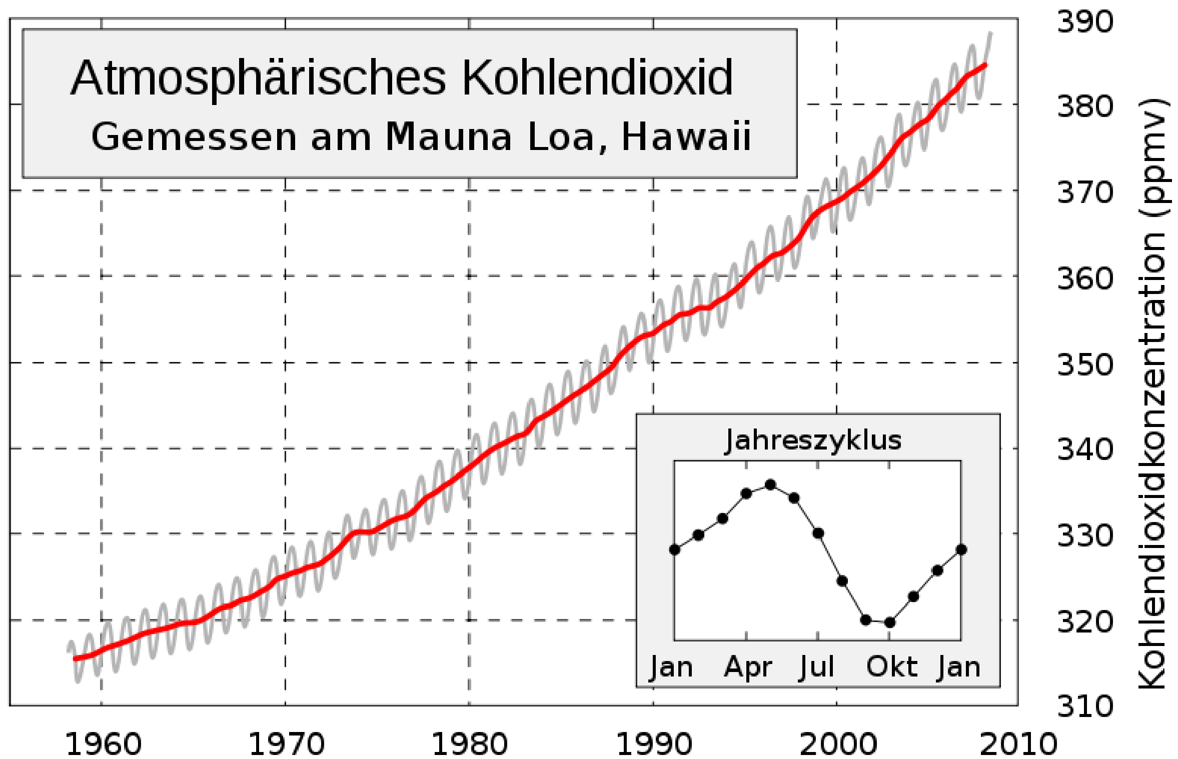
ahol:

y_{karb}	a karbonátosodás mélysége, mm
D_{CO_2}	a CO_2 diffúziós együtthatója a karbonátosodott betonban, mm^2/év
c_1	a levegő CO_2-tartalma, kg/m^3
$c_{2,karb}$	a beton köbméterének karbonátosodásához szükséges CO_2 mennyisége, kg/m^3
t_{karb}	a karbonátosodási idő, év
k_{karb}	a karbonátosodási tényező, mm/√év:

$$k_{karb} = \sqrt{2 \cdot D_{CO_2} \cdot \frac{c_{1,karb}}{c_{2,karb}}}$$

A CO_2 diffúziós együtthatója betonban, 65 % relatív páratartalom esetén általában $D_{CO_2} = 2 \cdot 10^{-8}$ m²/s és $4 \cdot 10^{-8}$ m²/s, azaz $2 \cdot 10^{-8} \cdot 3{,}1536 \cdot 10^{13} = 6{,}3072 \cdot 10^{5}$ mm²/év és $4 \cdot 10^{-8} \cdot 3{,}1536 \cdot 10^{13} = 1{,}26144 \cdot 10^{6}$ mm²/év közötti érték, ahol a mértékegység átszámítása: 1 m²/s = $365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 10^{6} = 3{,}1536 \cdot 10^{13}$ mm²/év (*Fachhochschule Campus Wien*, évszám nélkül).

A levegő CO_2-tartalma általában (c_1) 360 ppm (0,036 térfogat%) és 400 ppm (0,040 térfogat%), azaz $0{,}00036 \cdot 1{,}98 \sim 0{,}0007$ kg/m³ és $0{,}00040 \cdot 1{,}98 \sim 0{,}0008$ kg/m³ közötti érték, ahol a CO_2 sűrűsége 1,98 kg/m³ (*35. ábra*).



35. ábra: Az atmoszféra CO_2-tartalmának változása az utóbbi ötven évben (*Keeling*-görbe) Forrás: http://scrippsco2.ucsd.edu/program_history/keeling_curve_lessons.html és http://de.wikipedia.org/wiki/Keeling-Kurve

A portlandcementtel készített betonok esetén a $c_{2,karb}$ értéke általában 10 kg/m³ és 50 kg/m³ közé esik (*Wittmann* 1993).

Eszerint a $c_{1,karb}/c_{2,karb}$ hányados valószínű legkisebb értéke $0{,}0007/50 = 1{,}4 \cdot 10^{-5}$ és valószínű legnagyobb értéke $0{,}0008/10 = 8{,}0 \cdot 10^{-5}$.

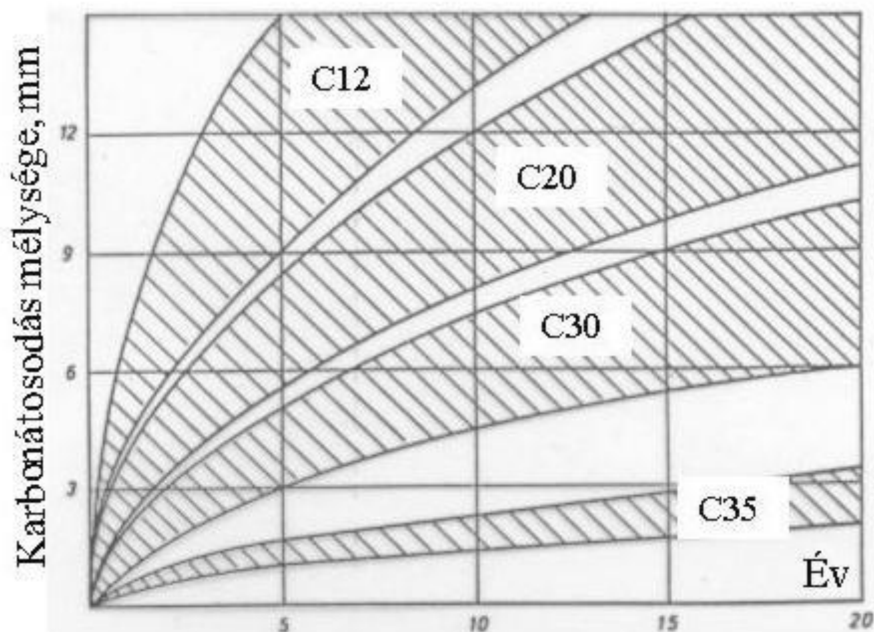
Ezeknek az értékeknek a felhasználásával azt kapjuk, hogy a k_{karb} karbonátosodási tényező valószínűleg legkisebb értéke:

$$k_{karb,min} = \sqrt{2 \cdot 6{,}3072 \cdot 10^{5} \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-5}} = 4{,}20 \quad mm/\sqrt{év}$$

és valószínűleg legnagyobb értéke:

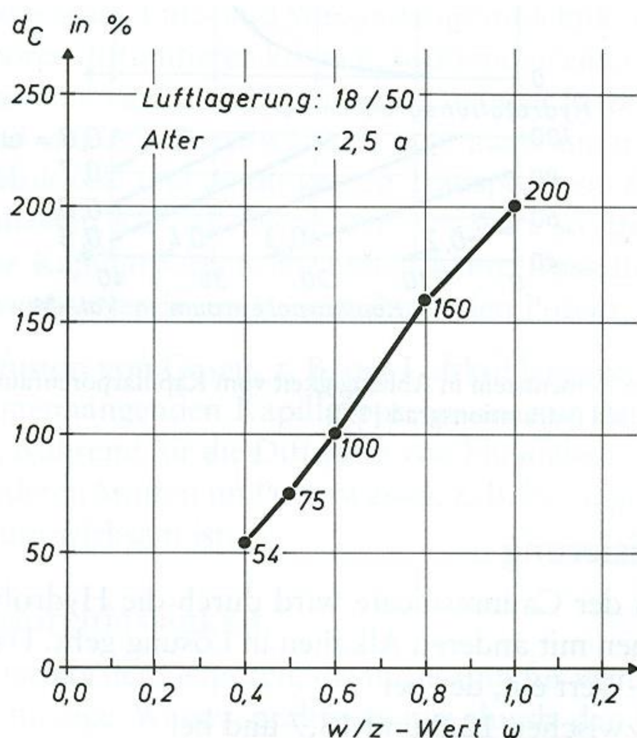
$$k_{karb,max} = \sqrt{2 \cdot 1{,}26144 \cdot 10^{6} \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-5}} = 14{,}21 \quad mm/\sqrt{év}$$

Irodalmi adatok szerint a k_{karb} karbonátosodási tényező értéke átlagos környezetben lévő tömör beton esetén általában 1,0-1,5 mm/√év, míg ipari környezetben lévő kevéssé tömör beton esetén 7,0-8,0 mm/√év is lehet (*Branco – Brito* 2004).



36. ábra: Karbonátosodás mélysége az idő és a beton nyomószilárdsági osztálya függvényében.
Forrás: http://www.fh-campuswien.ac.at/bau@home/bausanierung/daten/4_5_3.htm

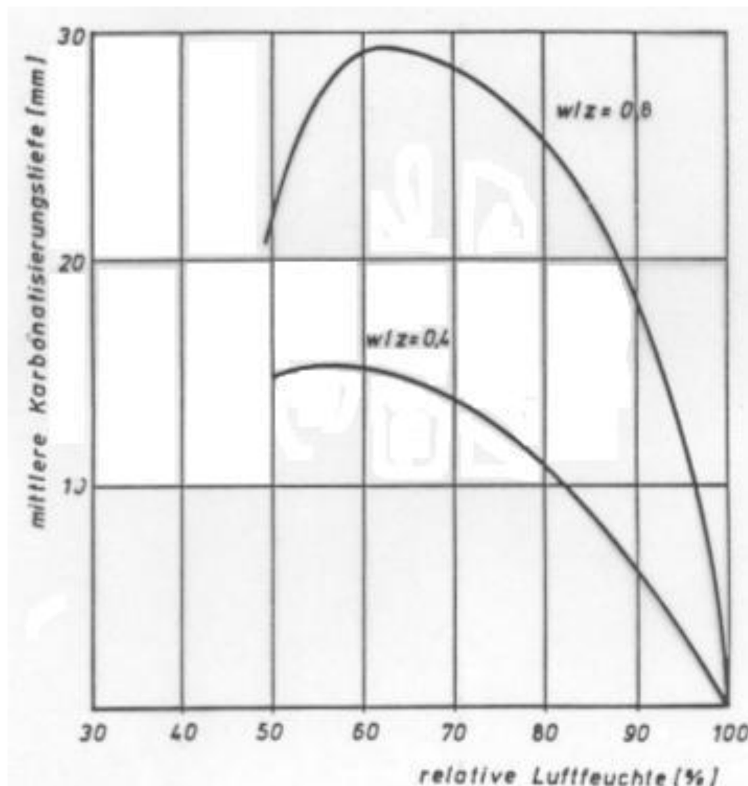
A *37. ábra* szerint a 18 ºC hőmérsékletű, 50 % relatív páratartalmú térben tárolt, 2,5 éves, 0,4 értékű víz-cement tényezőjű beton karbonátosodási mélysége mintegy fele a 0,6 értékű víz-cement tényezővel készített betonénak (*Wesche* 1993).



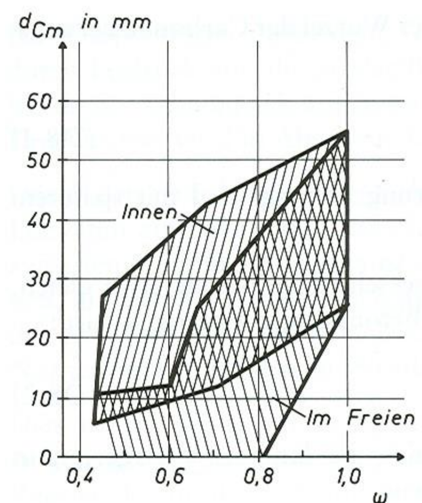
37. ábra: Karbonátosodás viszonyított mélysége a víz-cement tényező függvényében (*Wesche* 1993)

A korán kiszáradt beton sokkal gyorsabban karbonátosodik, mint a hosszabban utókezelt beton. Például egy C30/37 nyomószilárdsági osztályú, egy nap alatt kiszáradt beton karbonátosodási sebessége közel ugyan akkora, mint a három napig nedvesen tartott C20/25 nyomószilárdságú betoné. A CEM III fajtájú kohósalakcementtel készített betonokat különösen hosszú ideig kell utókezelni (*Springenschmid* 2007).

A leggyorsabban a beton akkor karbonátosodik, ha a levegő relatív páratartalma 50-70 % között van, mert akkor a beton pórusai még nincsenek vízzel telítve, tehát széndioxid a betonba be tud diffundálni, és a rendelkezésre álló pórusvíz a karbonátosodás folyamatához már elegendő *(38. ábra*). Ha a levegő relatív páratartalma mintegy 30 % alatt van, a beton nem karbonátosodik. Ezért a karbonátosodási mélység a belső térben gyakran nagyobb, mint a szabadban (*39. ábra, Wesche* 1993).



38. ábra: Átlagos karbonátosodási mélység a víz-vement tényező és levegő relatív páratartalma függvényében.
Forrás: http://www.fh-campuswien.ac.at/bau@home/bausanierung/daten/4_5_3.htm



39. ábra: 1-54 éves korú betonok karbonátosodási mélysége a víz-cement tényező függvényében (*Wesche* 1993)

Ha a beton időnként átázik és kiszárad, akkor a karbonátosodás előrehaladása lecsökken. Ugyanis, ha a beton minden átázásnál a vizet a nem karbonátosodott rétegig felszívja, akkor a beton belsejében kioldott kalcium-hidroxid a száradás során a vízzel kifelé diffundál, és ezzel javítja a felületi réteg lúgosságát. Példa erre a csapadéknak rendszeresen kitett vízszintes felület, amelynek a karbonátosodási mélysége alig néhány mm.

Ezzel szemben a szabadban, de tető alatt lévő, esőtől védett beton, vagy a csapadék-, illetve nedvességszegény helyen lévő függőleges felületű beton karbonátosodási mélysége nagy. Ez a magyarázata annak, hogy a szerkezetek szélárnyékban lévő, csapadéktól jobban védett oldala mélyebben karbonátosodik, mint a szél irányába eső oldal, amelyikre a szél az esőt ráveri (*Springenschmid* 2007).

A le nem kötött kalcium-hidroxidot (mészhidrátot) a víz oldja, ezért az a felületen akár kivirágzás alakjában is megjelenhet. Ennek megelőzésére például a szigetelés és aszfaltburkolat nélküli nagytartósságú betonból készülő hídfelszerkezetekre az e-UT 07.01.17:2010 (TÚ 21) MAÚT tervezési útmutató cementekre vonatkozó 5.1.1.1. szakasza a felhasználható portlandcement le nem kötött kalcium-hidroxid-tartalmát 1,5 tömeg%-ban korlátozza. A kioldódás olyan nagy mértékű is lehet, hogy az acélbetét elveszti passzívréteget. Ez leginkább akkor fordul elő, ha a repedéseken, a porózus, vékony betonfedésen az esővíz, a hólé vagy valamilyen más lágy víz hosszabb időszakokban lassan átfolyik, majd szárazabb időszak következik (*40. ábra*). Ha a kivirágzás színe nem fehér, hanem rozsdabarna, az az acélbetét korróziójának jele.



40. ábra: Mészhidrát kiválás szabadban lévő vasbeton lépcsőkar alsó felületén

A le nem kötött kalcium-hidroxid nem tévesztendő össze a cementben ritkán jelen lévő szabad kalciumoxiddal (szabad égetett mész, nevezik nem túl szerencsésen szabad mésznek is), amely a betonban kalcium-hidroxiddá beoltódva duzzadáshoz és repedések keletkezéséhez vezethet (*mészduzzadás*).

A karbonátosodás mélységét a beton friss törésfelületén általában 0,1 %-os alkoholos fenolftalein oldattal szokás megvizsgálni. Az oldat hatására a beton beecsetelt törésfelületének nem-karbonátosodott, azaz lúgos kémhatású, mintegy pH = 9 értéknél (nagyobb) bázikusabb része lila (kárminvörös) színűre változik. A beton felszínéhez közeli, színét nem változtató része karbonátosodott, és ebből a karbonátosodás mélysége megállapítható (*41. ábra*). Az ábrán is látszik, hogy a karbonátosodás mélysége nem egyenletes, hanem a beton szövetszerkezetétől függően változó.



41. ábra: Karbonátosodott betonfedés kimutatása alkoholos fenolftalein oldatos ecseteléssel

A megszilárdult beton karbonátosodási mélységének meghatározását a szilárd beton frissen feltárt felületén fenolftaleines módszerrel az MSZ EN 14630:2007 szabvány szerint kell végezni. A módszert az *Iken* et al. (2012) könyv is szemléletesen bemutatja.

A betonok és habarcsok karbonátosodással szembeni ellenálló képességét gyorsított vizsgálattal, laboratóriumi próbatesten az MSZ EN 13295:2004 szabvány szerint kell meghatározni. A vizsgálat során az 1,0 % CO_2-tartalmú, (21 ± 2) °C hőmérsékletű, (60 ± 10) % relatív nedvesség-tartalmú légtérben lévő próbatest karbonátosodási mélységének változását mérik az MSZ EN 14630:2007 szerinti fenolftaleinos próbával, az idő függvényében. A módszerrel nem lehet mérni a betonnak más savas gázok (például SO_2, HCl) abszorpciója folytán bekövetkező pH-érték csökkenésével szembeni ellenállását.

Az alkoholos fenolftalein oldatnál megbízhatóbb módon lehet a karbonátosodási mélységet alkoholban oldott timolftaleinnel kimutatni, mert az érzékenyebben jelzi a kémhatás megváltozását. Lúgos oldatban, ha a pH =10 vagy annál nagyobb, az alkoholos timolftalein oldat kék színű. A beecsetelt betonfelületen a timolftalein oldat már akkor színtelenné válik, ha a pH értéke 10 alá csökken.

Összegezve: Annak, hogy a karbonátosodás az acélbetétet ne érje el, négy fontos feltétele van:

– a víz-cement tényezőt kicsire kell választani;
– a cementtartalom és a finom habarcs-tartalom (a pépes ágyazó anyag) kellően nagy kell legyen az acélbetét megfelelő beágyazottsága érdekében;
– a tervezési élettartam figyelembevételével be kell tartani betonfedés előírását;
– a betont jól be kell tömöríteni, és minél hosszabb ideig kell utókezelni.

13.2. KLORIDION-TARTALOM OKOZTA ACÉLKORRÓZIÓ

A kloridion-tartalom esetenként szokásos, kevésbé szabatos megnevezése: klorid-tartalom. Jele: $C\ell^-$

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.2.7. szakasza szerint a friss beton összes kloridion-tartalmát a cementtartalom tömegszázalékában kell kifejezni, és annak tényleges értéke nem haladhatja meg a kloridion-tartalom osztály követelményét, amelyet a *38. táblázatban* tüntetünk fel.

38. táblázat: A beton legnagyobb kloridion-tartalma a cementtartalom tömegszázalékában kifejezve

Beton fajtája	Kloridion-tartalom osztály [a]	Megengedett legnagyobb kloridion- ($C\ell^-$)-tartalom a cementtartalom tömegszázalékában [b]
Beton. Nem tartalmaz acélbetétet vagy más beágyazott fémet, kivéve a korrózióálló emelőfüleket [d]	Cℓ 1,0	1,0
Vasbeton. Acélbetétet vagy más beágyazott fémet tartalmaz	Cℓ 0,2	0,2
	Cℓ 0,4 [c]	0,4 [c]
Feszített vasbeton. Feszített acélbetétet is tartalmaz	Cℓ 0,1	0,1
	Cℓ 0,2 [c]	0,2 [c]

[a] Különleges betonfelhasználás esetén az alkalmazott osztály függ a beton felhasználási helyén érvényes utasításoktól.
[b] Ha II. típusú kiegészítőanyagot (például kohósalakot, pernyét, szilikaport) alkalmazunk, és ezt beszámítjuk a cementtartalomba, akkor a cement + teljes mennyiségű kiegészítőanyag tömegszázalékában kifejezett kloridion az a kloridion-tartalom, amelyet számításba kell venni.
[c] Kizárólag nedvességtől elzárt térben lévő szerkezetek esetén szabad megengedni.
[d] Az emelőfüleket nem kell korrózióálló acélból készíteni akkor, ha a szerkezeti elemet egyszer emelik be a helyére, és később már nem emelik.

Kalcium-kloridot és kloridalapú adalékszereket nem szabad acélbetéteket (vasbeton), előfeszített acélokat (előfeszített vasbeton) vagy más beágyazott fémeket tartalmazó betonhoz adagolni.

A kloridoknak ellenálló vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonját az XD1 és XD2 környezeti osztály feltételei szerint kell összeállítani. A jégolvasztósózásnak kitett betonokat az MSZ EN 206-1:2002 szabvány az XD3 környezeti osztályba, míg Magyarországon az MSZ 4798-1:2004 szabvány az XF4 környezeti osztályba sorolja. A tengervíz kloridion-tartalmának ellenálló betonok XS környezeti osztályaival, vagy a tengerből kotort adalékanyag kloridion-tartalmával Magyarországon nem szoktunk foglalkozni.

A friss beton megengedett vízoldható kloridion-tartalmát a cementtartalom tömeg%-ában kifejezve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 10. táblázata tartalmazza (*38. táblázat*). Ha a beton nem tartalmaz acélbetétet vagy más beágyazott fémet (kivéve a korrózióálló emelőfüleket), akkor a megengedett legnagyobb Cl^--tartalom 1,0 tömeg% (ebben az esetben a kloridion-tartalom osztály jele *Cℓ* 1,0). Ez a határérték nedves helyen lévő, vasbeton esetén 0,2 tömeg%

(jele $C\ell$ 0,2), nedvességtől elzárt térben, vasbeton esetén 0,4 tömeg% (jele $C\ell$ 0,4); és nedves helyen lévő feszített vasbeton esetén 0,1 tömeg% (jele $C\ell$ 0,1), nedvességtől elzárt térben, feszített vasbeton esetén 0,2 tömeg% (jele $C\ell$ 0,2).

Az ismert összetélű friss beton kloridion-tartalmát a betonalkotók, a cement, a keverővíz, az adalékanyag, a kiegészítőanyag és az adalékszer kloridion-tartalmából a következő módszerek egyikével vagy ezek kombinációjával lehet meghatározni, és a cementtartalom tömegszázalékában kifejezni:

– az alkotóanyagok szabványai által megengedett vagy a gyártója által megadott legnagyobb kloridion-tartalom alapján;
– az alkotóanyagok havonta elvégzett kloridion-tartalom vizsgálata utolsó 25 eredményének az átlagából és az ehhez hozzáadott 1,64-szoros szórásából meghatározott várható legnagyobb kloridion-tartalom alapján. Az alkotóanyagok ennél nagyobb kloridion-tartalmának előfordulási valószínűsége legfeljebb 5 %.

A betonalkotóanyagok megengedett legnagyobb kloridion-tartalmáról a vonatkozó termékszabványok intézkednek. Például a betonszerkezetek gyártásához használt betonalkotóanyagok megengedett vízoldható kloridion-tartalma a következő:

– cement (MSZ EN 197-1:2011), az MSZ EN 196-2:2005 szerint vizsgálva: ≤ 0,1 tömeg%
– víz (MSZ EN 1008:2003), az MSZ EN 196-2:2005 szerint vizsgálva:
  – betonhoz: ≤ 0,45 tömeg%
  – vasbetonhoz: ≤ 0,10 tömeg%
  – feszített vasbetonhoz: ≤ 0,05 tömeg%
– adalékanyag – beleértve a kiegészítőanyagként alkalmazott kőlisztet is – (MSZ EN 12620:2002+A1:2008), a szemek felületéről vízzel leoldható kloridion-tartalom, az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 7. fejezete szerint vizsgálva (DIN-Fachbericht 100:2010):
  – beton esetén: ≤ 0,15 tömeg%
  – vasbeton esetén: ≤ 0,04 tömeg%
  – feszített vasbeton esetén: ≤ 0,02 tömeg%
  – az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.2. szakaszának megjegyzése szerint, ha ismert, hogy az adalékanyag vízoldható kloridion-tartalma legfeljebb 0,01 tömeg%, akkor ezt az értéket (0,01 tömeg%) a beton kloridion-tartalmának kiszámításánál alkalmazni szabad.
– adalékszer (MSZ EN 934-1:2008), kloridmentes (német jelölése gyakran „OC”: ohne Clorid), az MSZ EN 480-10:2009 szerint vizsgálva: ≤ 0,1 tömeg%

Példaképpen számítsuk ki egy 300 kg/m^3 cementtartalmú, 0,5 vízcementtényezőjű, 1940 kg/m^3 adalékanyag (mészkőliszttel együtt, ha van benne) tartalmú, 4,5 kg/m^3 adalékszer adagolású, vasbeton szerkezetbe beépítésre kerülő friss beton kloridion-tartalmát annak feltételezésével, hogy a cement, a víz és az adalékszer kloridion-tartalma a megengedett felső határérték 80 százalékát, míg a mosott adalékanyag kloridion-tartalma a megengedett felső határérték 20 százalékát éri el:

$C\ell^{-}_{cement}$ = 0,8·300·10^{-3} = 0,2400 kg/m^3
$C\ell^{-}_{víz}$ = 0,8·150·10^{-3} = 0,1200 kg/m^3
$C\ell^{-}_{adalékanyag}$ = 0,2·1940·4·10^{-4} = 0,1552 kg/m^3
$C\ell^{-}_{adalékszer}$ = 0,8·4,5·10^{-3} = 0,0036 kg/m^3
azaz a betonban lévő összes klorid tömege = 0,5188 kg/m^3,
amelyet a cementtartalom tömegszázalékában kifejezve kapjuk az MSZ 4798-1:2004 szabvány 10. táblázatában szereplő követelménnyel összevetendő kloridion-tartalmat = (0,5188/300)·100 = 0,173 tömeg%.

Minthogy 0,173 < 0,2 tömeg%, a példa szerinti beton az MSZ 4798-1:2004 szabvány 10. táblázata szerint a *Cℓ* 0,20 jelű kloridion-tartalom osztályba tartozik, és vasbeton szerkezet készítésére alkalmas.

Értelemszerűen kell a bemutatott számítási módszert alkalmazni akkor is, ha a kloridion-tartalmat esetleg a friss beton tömeg%-ában adják meg, és ki kívánjuk számítani a cementtartalom tömegszázalékában kifejezett kloridion-tartalmat. Fenti példában a a friss beton tömeg%-ában kifejezett kloridion-tartalom: 100·0,5188/(300 + 150 + 1940 + 4,5) = 100·0,5188/2394,5 = 0,022 tömeg%. Ha a pontos számításhoz szükséges összes adatot nem ismerjük, akkor 300 kg/m^3 cementtartalom és 2400 kg/m^3 friss beton testsűrűség feltételezésével, a friss beton tömeg%-ában megadott kloridion-tartalmát nyolccal (2400/300 = 8) megszorozva kapjuk a cementtartalom tömeg%-ában kifejezett hozzávetőleges kloridion-tartalmat, példánk szerint: 0,022·8 = 0,176 tömeg% ~ 0,173 tömeg%, amely utóbbi a példa szerinti pontos érték.

A beton lúgos kémhatású, nem karbonátosodott tartományában a cementkő a kloridionok egy részét megkötheti, de a lúgos kémhatású, nem karbonátosodott betonba ágyazott betonacél is korrodálhat, ha a cementkő nem köti le az összes kloridiont (*Kopecskó – Balázs* 2006, 2008).

A kloridionok egy részét a cement trikalcium-aluminát (C_3A, felit) és tetrakalcium-aluminát-ferrit (C_4AF, celit) tartalma nehezen oldódó *Friedel*-só ($3CaO·Al_2O_3·CaCl_2·10H_2O$) formájában megköti, és csak a maradék szabad kloridion-tartalom okoz korróziót.

A megkötött kloridion mennyisége elsősorban a cement C_3A-tartalmától függ. A szulfátálló portlandcementeknek kicsi a C_3A-tartalma, ezért azok a legkevésbé sem alkalmasak a klorid-károsodás megelőzésére. Előnyös ezzel szemben a CEM III fajtájú kohósalakcementek alkalmazása, mert az ezekkel készített, jól utókezelt betonok tömör szövetszerkezete csökkenti a kloridionok behatolási mélységét.

A Friedel-só formájában kötött kloridionok egy része a beton karbonátosodása során szabad kloridion formába kerülhet, mert a Friedel-só ilyen körülmények között nem stabil. A meg nem kötött, kristályosodó kloridok fokozzák a beton fagykárosodását, a kristályosodó kloridok egyrészt repesztik a betont, másrészt nedvszívó hatásuknál fogva növelik annak víztartalmát, a sózott beton (például útbeton) a következő telet már nagyobb víztartalommal kezdi meg, mint az előzőt, és a kloridok végül megtámadják a betonacélt.

A betonacél korróziója elektrokémiai folyamat. Ennek során, amíg a nedves környezetben lévő betonacél egyik pontján, az anódon az acél oldódik és pozitív töltésű vasionokat ad le az oldatba, addig az acél másik pontján, a katódon negatív töltésű hidroxilionok képződnek, és áramkör alakul ki. Ezt mikroelemnek nevezik, mert víz esetén a katód közvetlenül az anód mellett alakul ki. Ha a vízben kloridionok is vannak, a katód akár több méterre is lehet az anódtól.

Ha a kloridionok és a hidroxilionok koncentrációinak aránya az acélbetét felületén a Cl^-/OH^- = 0,6 értéket eléri, akkor a lúgos kémhatású pórusvíz által a betonacél felületén létrehozott

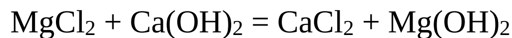
mikroszkopikus vastagságú oxid-réteg, az ún. passzívréteg felbomlik és megindul az anódos acéloldódás, amit a keletkező sötét, mély lyukak után lyukkorróziónak neveznek. A lyukkorrózió – a karbonátosodás okozta korrózióval szemben – nem jár térfogat növekedéssel, a betonfedés gyakran nem reped le, ezért felismerése nehéz, ami igen veszélyessé teszi. A karcolások, sérülések feszültséggyűjtő hatása folytán akár az acélbetét váratlan ridegtörése is bekövetkezhet. A kloridionok vékony betonfedés esetén vagy a szabadban fekvő betonacélon teknő alakú, rozsdabarna korróziót is okozhatnak.

Kopecskó Katalin és *Balázs György* tanulmányában olvashatjuk, hogy az irodalom szerint, ha a portlandcementet részlegesen szilikaporral helyettesítik, a kloridion megkötő képesség csökken, amit a szilikapor pH-t csökkentő hatásával magyaráznak. Az ilyen cementekben nagyobb mértékű az acélbetét korróziója, mint a tiszta portlandcementben, hiszen csökken a hidroxilionok koncentrációja, valamint a kloridiont megkötni képes hidrátfázisok mennyisége is (*Kopecskó – Balázs* 2006, 2008). Ugyanakkor tömörséget biztosító hatásánál fogva a szilikapor adagolás javítja a beton ellenállását a kloridion behatolás ellen, és általában ezt tekinthető döntőnek.

Nagyobb klorid-tartalmú cementpépekben a pórusvíz kloridion koncentrációja is nagyobb. NaCl oldat esetén a beton kloridion megkötő képessége ~35 %-kal nagyobb, mint $CaCl_2$ esetén. A karbonátosodás és az átlagosnál nagyobb hőmérsékletű környezet a kloridtartalmú hidrátfázisok bomlását eredményezi, ezáltal a cementkő kloridion megkötő képessége csökken (*Kopecskó – Balázs* 2006, 2008).

A téli síkosság mentesítéshez használt kloridok közül a nátrium-klorid a legjelentősebb, de számítani kell a hidegebb időben, illetve a növények védelme érdekében használt a kalcium-klorid, kálium-klorid, vagy az ezeknél károsabb magnézium-kloridos oldat hatására is.

A magnézium-kloridos olvasztósó-oldat alkalmazása azért veszélyes a betonra, mert a betonba beszivárgó magnézium-klorid oldat Mg^{2+} ionja és a betonban lévő szabad mészhidrát Ca^{2+} ionja között cserebomlási reakció játszódik le, amely a cementkő oldódását okozza:



$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2$$

A magnézium és kalcium cserebomlása során a cementkőben csökken a kalcium-hidroxid fázis mennyisége, helyette jól oldódó kalcium-klorid és vízben gyakorlatilag oldhatatlan, de kimosódó magnézium-hidroxid keletkezik, és a beton tönkremehet.

Kloridok ipari létesítményekben is előfordulnak, érintkeznek például az ivóvíz ellátás és az uszodák műtárgyaival is.

Nem szabad megfeledkezni arról sem, hogy a PVC (például szőnyeg, redőny, vagy más tárgy) égésekor hidrogén-klorid-tartalmú gázok keletkeznek, amelyek a tűzoltó vízzel érintkezve sósav-oldattá alakulnak. A sósav-oldat oldja a betont és a beton mésztartalmú alkotóival kalcium-kloridot képez.

Kloridionok vízben oldott állapotban, diffúzióval vagy kapilláris vízfelszívással kerülhetnek az elkészült betonszerkezetekbe. A sók higroszkópos tulajdonságúak, a nedvességet a környező levegőből is képesek felvenni. Betonba hatolásuk nagyobb hőmérsékleten gyorsabb.

Kloridion-diffúzió akkor lép fel, ha a beton felületi és belső rétegében lévő vízgőz páratartalma vagy nedvesség töménysége között, illetve a molekula- vagy iontartalom koncentrációja között különbség van. A diffúzió sebessége annál nagyobb, mennél nagyobb a koncentráció különbség és porozitástól függő diffúziós együttható. A diffúzió tömör és száraz beton esetén csekély.

A kapilláris felszívás nagyságrendekkel nagyobb a diffúziónál. A kloridion-behatolás hasonlóan a vízfelszíváshoz, annál nagyobb, mennél szárazabb a beton és mennél nagyobb a szabad, el nem tömődött repedéseinek a száma és tágassága. A kapilláris felszívás magassága fordított, sebessége egyenes arányban áll a kapilláris átmérőjével. Ha a beton víz-cement tényezője több mint 0,7, akkor a kapilláris felszívás a 100 mm-t is meghaladhatja. A nedvesedést követő száradás folyamán a víz a betonból elpárolog és az oldott sókat a kapillárisban hátrahagyja.

A klorid-károsodás veszélye csökken, ha a betonfedés betonacél esetén legalább 40 mm, feszített vasbeton esetén legalább 50 mm, ha a víz-cement tényező legfeljebb 0,45, ha a fiatal betont sokáig nedvesen tartják, ha a betont csak több hónapos korában éri először kloridion, ha a beton repedésmentes.

A szakirodalomban négyféle módszert találtunk a klorid-ionok behatolásának, átáramlásának, áteresztésének, vándorlásának (kloridion migráció) mérésére. Migráció: ionok vándorlása egyensúlyi állapot létrehozására. Ezek egyikével kell ellenőrizni, hogy az XD2 és XD3 környezeti osztályban a D_{nssm} migrációs tényező $5\cdot10^{-12}$ m^2/s alatt van-e (*Erdélyi* 2010):

- ASTM C1202:1997 szerinti módszer (Cℓ penetration) a klorid-ion behatolás [$C\ell^-$ Coulomb/6 óra] meghatározására. Ilyen kloridion behatolás mérő készülékkel a CEMKUT Kft. rendelkezik. Ez a klorid-ion behatolás rosszul számítható át a D_{nssm} klorid migrációs tényezőre;
- NT Build 492:1999-11 (NT: Nord Test) skandináv módszer: D_{nssm} klorid migrációs tényező mérése nem állandósult állapotban (Chloride migration coefficient from non-steady-state migration cell experiments). A D_{nssm} [m^2/s] tényező indexe a „non steady state migration” kifejezésre utal. A klorid-behatolással kapcsolatos mérési módszerek közül a szakirodalom ezt tartja a legpontosabbnak és a leginkább reprodukálhatónak. Ezt a gyors (10-12 órás) $C\ell^-$-migrációs mérési módszert alkalmazza a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke a kloridionok D_{nssm} nem állandósult állapotban mérhető diffúziós tényezőjének a meghatározására;
- NT Build 355:1997-11 skandináv módszer: D_{ssm} klorid migrációs tényező meghatározása állandó áramláson (Chloride diffusion coefficient from migration cell experiment). Az így mért D_{ssm} [m^2/s] tényező indexe az állandó áramlási állapotú migrációra („steady state migration”) utal;
- NT Building 443 (1995-11) skandináv módszer: D_{nssd} klorid migrációs tényező meghatározása nem állandó áramláson (Accelerated chloride penetration). A D_{nssd} [m^2/s] tényezőt a „non steady state diffusion” kifejezés betűivel indexelik.

Összegezve: A friss beton kloridion-tartalmát mindig a cementtartalom tömegszázalékában kell kifejezni, illetve érteni.

A friss betont úgy védhetjük a kloridionok káros hatásától, hogy az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a betonalkotók termékszabványai által megengedett kloridion-tartalmat nem lépjük túl, továbbá betartjuk az XD, XF2, XF4, XF2(H), XF4(BV-MI) környezeti osztályok feltételeit (lásd a 2.4.1. szakasztot).

Megjegyzendő azonban, hogy az előírt 320 kg/m^3-es vagy nagyobb cementadagolás tömör szövetszerkezetet eredményez, de ez a cement mennyiség tömegbetonok esetén nagyobb hőfejlesztéssel, és a repedési hajlam növekedésével jár, ezért a tömegbetonokat sokkal kisebb cement adagolással készítik. Igaz ugyanakkor az is, hogy a megrepedt beton esetén a kloridion behatolás szempontjából sokkal nagyobb jelentősége van a nedvességnek, a betonfedés tömörségének és vastagságának, mint általában a repedéstágasságnak.

A szilárd betonba a környezetből is kerülhetnek kloridionok.

A kloridionok szilárd betonba hatolása elleni hatékony védekezés a következőkből áll:

- a betonfedést az előírthoz képest meg kell növelni;
- a víz-cement tényező értéke kisebb legyen, mint 0,4;
- a cement C_3A-tartalma legyen nagy, tehát célszerű kohósalakcementet vagy nagy pernyetartalmú pernyeportlandcementet alkalmazni. A szulfátálló portlandcementek és a kis hőfejlesztésű cementek alkalmazását kis C_3A-tartalmuk miatt kerülni kell;
- a szilikapor adagolás tömörség fokozó hatásának köszönhetően javítja a beton ellenállását a kloridion behatolás ellen a tiszta portlandcementtel (CEM I fajtájú) készült betonhoz képest. Ugyanakkor nem szabad elfelejteni, hogy a szilikapor-tartalmú betonnak kisebb a kloridion megkötő képessége, mint a szilikapor nélküli betoné, mert a szilikapor csökkenti a beton pH értékét;
- a betont hosszan kell utókezelni, különösen, ha kohósalakcementtel készül;
- a nagy költségek ellenére meg kell fontolni a rozsdamentes betonacél felület-közeli alkalmazását. A kloridionok korróziós hatásának jól ellenáll például a krómot, nikkelt és egyéb ötvözőket tartalmazó az X6CrNiMoTi és az X2CrNiMoN jelű, hidegen alakított, 6-14 mm átmérővel gyártott bordás, rozsdamentes betonacél;
- különösen feszített vasbeton szerkezetek esetén rendkívül fontos a vizek gyors elvezetése, illetve távol tartása az acélbetéttől és a feszítőacéltól (*Springenschmid* 2007).

13.3. TERMÉSZETES TALAJ ÉS TALAJVÍZ KÉMIAI KORRÓZIÓJÁNAK ELLENÁLLÓ BETONOK

13.3.1. Természetes talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló betonok környezeti osztályba sorolásának feltétele

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány a szulfátion (SO_4^{2-}), az agresszív szén-dioxid (CO_2), az ammóniumion (NH_4^+), a magnéziumion (Mg^{2+}) tartalom, valamint a pH érték és a *Baumann-Gully*-féle savasság alapján sorolja be a talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló betont környezeti osztályba (*40. táblázat*). Az XA1, XA2, XA3 környezeti osztály valamelyikébe sorolt beton készítése során a *17. táblázatbeli* feltételeket kell figyelembe venni.

Megjegyezzük, hogy a *40. táblázat* csak a természetes talajvíz és a természetes talaj beton károsító hatására vonatkozik, az ipari eredetű vagy más anyagok agresszivitására az irodalomban (például: *Biczók* 1956 és 1960, *Grübl* et al. 2001) található adat.

A savak vagy lágy víz okozta *oldódásos korrózióval* könyvünk *13.4. fejezetében, duzzadásos korróziót* okozó szulfátion-tartalom beton károsító hatásával a *13.5. fejezetben* foglalkozunk, tekintettel arra is, hogy agresszív hatások nem csak a talajvízből és a talajból érhetik a betont.

A veszélyes anyagok általában csak vízben oldott állapotban, illetve nedvesség jelenlétében okoznak betonkorróziót. A füstgázok nagyon károsak lehetnek, ha kondenzvízzel csapódnak a beton felületére, ami leginkább kéménykürtők, hűtőtornyok és szennyvízcsatornák esetén fordul elő.

Mennél tömörebb, mennél kevesebb kapilláris pórust tartalmaz a beton, annál kisebb a kémiai korrózió fellépésének a valószínűsége. Ebből is következik, hogy minél később kerül a beton a korróziót okozó anyaggal kapcsolatba, a korróziónak annál jobban ellenáll.

Ha az agresszív hatás gyenge (XA1 környezeti osztály), akkor általában elegendő kis vízáteresztő-képességű betont készíteni, ha közepes (XA2 környezeti osztály), akkor a megfelelő tömörségen kívül megfelelő betonösszetételre is szükség van, ha erős (XA3 környezeti osztály), akkor a legjobb az agresszív vizeket a betontól távol tartani (például az agresszív kémiai hatásnak ellenálló, a betonhoz jól tapadó bevonattal). Ilyen erős korróziós

hatásnak vannak kitéve, például a savas mosóvizet használó vasúti kocsimosók műtárgyai, vagy a veszélyes hulladékot tároló elemek.

Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvánnyal szemben az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány különbséget tesz az oldódásos és a szulfátos duzzadásos betonkorrózió környezeti osztálya, illetve annak jele között. *Oldódásos betonkorróziót* (Lösender Angriff, környezeti osztálya: XA1L, XA2L, XA3L) az agresszív szén-dioxid (CO_2), az ammóniumion (NH_4^+), a magnéziumion (Mg^{2+}) tartalom, valamint a kis pH érték és a *Baumann-Gully*-féle savasság, *szulfátos duzzadásos betonkorróziót* (Treibender Angriff, környezeti osztálya: XA1T, XA2T, XA3T) a szulfátion (SO_4^{2-}) tartalom okoz.

A *39. táblázatban* látni, hogy az XA2 és XA3 környezeti osztályokban ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány követelményei a friss betonra szigorúbbak, mint az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabványban. Ennek oka, hogy ha eltekintünk a beton és a kémiai korróziót okozó közeg fizikai elválasztásának (például fólia- vagy más szigeteléssel, agyagréteggel) lehetőségétől, akkor a beton építmények kémiai korróziója elleni hatásos védekezésül szolgáló eszközeink eléggé korlátozottak.

39. táblázat: Kémiai korrózió környezeti osztályainak követelménye az ÖNORM B 4710-1:2007 * szerint

Oldódásos betonkorrózió Duzzadásos betonkorrózió	XA1L XA1T	XA2L [c] XA2T [c]	XA3L ** [c] XA3T ** [c]
Víz-kötőanyag tényező, legfeljebb	0,55	0,45	0,31 [a] 0,34 [b]
Kötőanyag-tartalom, legalább, kg/m^3	300	360	–
Cementtartalom, általában, legfeljebb, kg/m^3	–	–	430
Szilikapor-tartalom a cement tömeg%-ában	–	–	7
Egyéb követelmény	A CEM II/A-L és a CEM II/B-L fajtájú mészkőliszt-portlandcementet az XA1T, XA2T és XA3T duzzadásos szulfátkorróziós környezeti osztályban *nem szabad* használni.		
	–	Megnövelt utókezelési idő Lásd a *41. táblázatot*.	

Megjegyzés:

* Miután 2007-ben az ÖNORM B 5017:2000 „**H**och**l**eistungsbeton im **S**iedlungs**w**asserbau” című szabványt beépítették az ÖNORM B 4710-1:2007 szabványba, visszavonták.

** Közműépítésben alkalmazott „nagyteljesítményű” beton (**H**och**l**eistungsbeton im **S**iedlungs**w**asserbau, HL-SW-Beton) környezeti osztály csoportja: XC4/D3/XF3/XA3L/XA3T

[a] Kezdeti vizsgálat esetén
[b] Megfelelőségi és azonosító vizsgálat esetén
[c] Meghosszabbított utókezelési időt igényel

Németországban a szennyvíz csatornák korróziója ellen többek között az „ATV-M 168:1998”, illetve az ezt felváltó „DWA-M 168:2010” műszaki irányelv (Merkblatt) alapján védekeznek.

40. táblázat: Beton besorolása környezeti osztályba a természetes talajvíz és talaj kémiai agresszivitásának függvényében az MSZ EN 206-1:2002, illetve az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szerint

A következő agresszív kémiai hatások 5 °C és 25 °C közötti hőmérsékletű természetes talajokra és talajvizekre vonatkoznak, a nyugalmi állapotban lévőhöz közeli, illetve lassú vízáramlás esetén.

Minden egyes kémiai jellemzőre a legveszélyesebb érték határozza meg az osztályt.

Ha két vagy több agresszív jellemző ugyanahhoz az osztályhoz vezet, akkor a betont a következő magasabb környezeti osztályba kell sorolni, hacsak az adott esetre vonatkozó egyedi vizsgálat nem bizonyítja ezt szükségtelennek.

Kémiai jellemző	Vizsgálati módszer	Környezeti osztály		
		XA1	XA2	XA3
Talajvíz				
SO_4^{2-}, mg/liter (Duzzadásos korróziót okoz)	MSZ EN 196-2:2005	≥ 200 és ≤ 600	> 600 és ≤ 3000	> 3000 és ≤ 6000
pH (Oldódásos korróziót okoz)	ISO 4316:1977	≤ 6,5 és ≥ 5,5	< 5,5 és ≥ 4,5	< 4,5 és ≥ 4,0
Agresszív CO_2, mg/liter (Oldódásos korróziót okoz) [a]	MSZ EN 13577:2007	≥ 15 és ≤ 40	> 40 és ≤ 100	> 100 telítésig
NH_4^+, mg/liter (Oldódásos korróziót okoz) [b]	MSZ ISO 7150-1:1992 vagy ISO 7150-2:1986	≥ 15 és ≤ 30	> 30 és ≤ 60	> 60 és ≤ 100
Mg^{2+}, mg/liter (Oldódásos korróziót okoz)	MSZ EN ISO 7980:2000	≥ 300 és ≤ 1000	> 1000 és ≤ 3000	> 3000 telítésig
nk° = °dH német vízkeménység (Oldódásos korróziót okoz) [c]	MSZ EN 13577:2007	0 – 3 azaz nagyon lágy víz	–	–
Talaj				
SO_4^{2-} összes, mg/kg [d] (Duzzadásos korróziót okoz)	MSZ EN 196-2:2005 [e]	≥ 2000 és ≤ 3000 [f]	> 3000 [f] és ≤ 12000	> 12000 és ≤ 24000
Savasság, mliter/kg (Oldódásos korróziót okoz)	DIN 4030-2:2008	> 200 Baumann-Gully	A gyakorlatban nem fordul elő	

a) A szennyvizekből, illetve a szennyvíztisztítás során felszabaduló agresszív CO_2-tartalom határértéke az XA2 környezeti osztályban legfeljebb 60 mg/liter, és az XA3 környezeti osztályban legfeljebb 100 mg/liter lehet (ÖNORM B 4710-1:2007).

b) A DIN 1045-2:2008 szabvány szerint trágyalé esetén a betont az ammóniumion-tartalomtól (NH_4^+) függetlenül az XA1 környezeti osztályba szabad sorolni.

c) A vízkeménység előírása az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 2 táblázatában található.

d) A 10^{-5} m/s áteresztőképesség alatti agyagtalajok esetén a betont alacsonyabb környezeti osztályba szabad sorolni.

e) A vizsgálati módszer az SO_4^{2-} sósavval való kivonását írja elő, alternatívaként vízzel való kivonás is használható, ha a beton alkalmazásának a helyén van erre tapasztalat.

f) A 3000 mg/kg határértéket 2000 mg/kg értékre kell mérsékelni, ha fennáll a szulfátionok felhalmozódásának a kockázata a betonban a száradás és a nedvesedés ciklikus változása vagy a kapillárisfelszívás következtében.

41. táblázat: ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány összevont 12 és NAD 17 táblázata az utókezelés megkövetelt idejéről a beton 2 és 28 napos átlagos nyomószilárdságának hányadosa és a környezeti osztály függvényében

Szilárdulás sebessége	Gyors	Közepes	Lassú	Nagyon lassú
A beton 2 és 28 napos átlagos nyomószilárdságának viszonya: $f_{cm,2}/f_{cm,28}$	$\geq 0{,}5$	$0{,}3 \leq$ $< 0{,}5$	$0{,}15 \leq$ $< 0{,}3$	$< 0{,}15$
Környezeti osztály	Utókezelés megkövetelt időhossza			
X0	12 óra	12 óra	24 óra	2 nap
XC1, XC2, XC3, XF1, XA1, XM1	2 nap	3 nap	4 nap	7 nap
Összes többi környezeti osztály	3 nap	7 nap	10 nap	14 nap

Megjegyzés:

1) A táblázatban található megkövetelt utókezelési időket akkor kell alkalmazni, ha a napi közepes levegőhőmérséklet nagyobb, mint +12 °C. Azokat a napokat, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet +5 °C és +12 °C közé esik, csak 0,7-es szorzóval szabad, azokat pedig, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet 0 °C és +5 °C közé esik, csak 0,3-es szorzóval szabad számításba venni.
2) Az XM1 a közepes kopásállóságú, lakóutak burkolata esetén alkalmazott osztrák környezeti osztály, amelyben a *Böhme*-féle kopási veszteség ≤ 20 $cm^3/50$ cm^2.
3) A „nagyteljesítőképességű” betonok (osztrák, illetve német jele: HL, Hochleistungsbeton) esetén az utókezelés ideje mindig 10 nap.

13.3.2. Talajok savassági fokának vizsgálata *Baumann-Gully*-féle módszerrel

A Baumann-Gully-féle savassági fok a talajok humusz-összetevője által leadni képes cserélhető hidrogénion-tartalomnak a mérőszáma. A töretlen részminta áthullott mennyiségéből (100 ± 0,1) g tömegű adagot 200 ml térfogatú, 1 mol/liter töménységű nátrium-acetát (CH_3COONa) oldattal kell vegyíteni, és a lezárt üveg edényt 1 órán át kell rázatni vagy mágneses keverővel keverni. Ennek hatására az ioncsere folytán ecetsav képződik. A szilárd részeket 5 percen át hagyni kell ülepedni. A szuszpenziónak először a folyadék részét, azután a kiülepedett szilárd részét át kell szűrni egy száraz, redős szűrőn keresztül, átmosás nélkül, egy Erlenmeyer-lombikba. A szűrlet egy ismert részét (kerek számú hányadát) öt csepp fenolftalein indikátor hozzáadása mellett titráljuk nátrium-hidroxiddal, halvány rózsaszín szín megjelenéséig. A Baumann-Gully-féle savassági fok az ecetsav semlegesítéséhez elhasznált 0,1 mol/liter koncentrációjú nátrium-hidroxid (NaOH) mennyiségét fejezi ki ml/(légszáraz talaj kg) mértékegységben. (DIN 4030-2:2008; Iken et al. 2012, *Gessner* 1928).

13.4. Savas és lágy víz okozta *oldódásos* betonkorrózió

Oldódásos betonkorrózióról beszélünk, ha a szilárd betont kívülről folyamatosan *savak*, illetve *savas vizek* (például szénsavas gyógyvizek, ún. savanyúvizek) érik, amelyek pH értéke kicsi. A savak hatására a cementkő és a finomszemű karbonátos adalékanyag egy része kioldódik.

A cement bázikus anyag, ezért a különböző cementek majdnem minden összetevője savban oldható, így a cementkövet a szerves és szervetlen savak általában megtámadják. A cementkő bonyolult meszes fázisait a savak vízoldható fázisokká alakítják, amelyek vizes és atmoszférikus hatásokra lebomlanak, oldódnak.

Az *esővíz* és a *lágy víz* is képes a cementkő vízoldható összetevőit (szabad kalcium-hidroxid) lassan oldani. Ilyenkor az adalékanyag szemek között a felületen a cementkő egyre inkább korrodálódik, sőt a porózus mészkő vagy dolomit szemek maguk is oldódhatnak. Esővíz hatására a szabadban lévő beton felülete tízévente általában 1 mm mélyen oldódik. A lágy víz kilúgozó hatására a betonban lévő szabad kalcium-hidroxid kioldódása a cementkő többi alkotórészének is a felbomlásához vezethet, amelynek következtében a beton elveszti szilárdságát és szétesik. Például az ipari vasbeton hűtőtornyok – amelyek levegőjének relatív nedvesség-tartalma 100 % – felső részén a meleg gőzből kondenzálódott lágy víz okoz a szövetszerkezetet megváltoztatva és a pH értékét lecsökkentve betonkorróziót.

Az oldódásos betonkorrózió mértékét jelentősen befolyásolja a hőmérséklet, 20 °C fölött általában gyorsabb és erősebb a korrózió, szemben a hidegben fokozódó duzzadásos szulfát-korrózióval, ami szintén e kétféle korrózió külön tárgyalását indokolja.

Az oldódásos betonkorrózió ellenszereként bevált a pernye kiegészítőanyag alkalmazása, mert általa a beton szövetszerkezete tömörebb lesz. Szilikapor kiegészítőanyag használata esetén különösen a cement és az adalékanyag határfelülete lesz tömör. A cement tömegére vett 7 tömeg% szilikaporral, nagy hatású folyósító adalékszerrel és 0,35 értékű víz-cement tényezővel készített nagyszilárdságú beton (≥ C55/67) általában kétszer olyan jól ellenáll az oldódásos betonkorróziónak, mint a 0,45 víz-cement tényezővel készített közönséges beton. Például hűtőtorony építéshez oldódásos betonkorróziónak jól ellenálló C70/85 nyomószilárdsági osztályú nagyszilárdságú betont fejlesztettek ki (*Springenschmid* 2007).

Vannak savállónak és szulfátállónak mondott, klinkert nem vagy csak alig tartalmazó cementek. Ilyen például a kis hőfejlesztésű, C_3A-mentes Slagstar márkanevű osztrák kötőanyag (gyártja: Wopfinger Baustoffindustrie GmbH, feltaláló: *Novák Dénes*), amelynek mintegy 79-85 tömeg% kohósalak és 10-20 tömeg% gipsz tartalma van, és hidratációja során alig keletkezik szabad $Ca(OH)_2$.

Az oldódásos korrózióra a karbonátos adalékanyag, így a mészkő és a dolomit is nagyon érzékeny, és az érzékenység a szemnagyság csökkenésével növekszik. Az ÖNORM B 4710-1:2007 osztrák szabvány szerint a 4 mm-nél kisebb szemek CO_2-ben kifejezett karbonát-tartalma legfeljebb 15 tömeg% legyen. A gyengén savas állóvizek esetén azonban a karbonátos adalékanyag még hasznos is lehet, mert a gyengén savas vizet semlegesíti és ezzel az állóvíz agresszivitását csökkenti.

Szennyvízcsatornák esetén az oldódásos betonkorróziót okozó savak hatására már néhány év alatt jelentős károk keletkezhetnek. Ezt különösen nagyon lassú folyási sebesség és nem megfelelő levegőztetés esetén lehet tapasztalni, mert az eltávozó kén-hidrogén (H_2S) és szerves poliszulfidok (például: $(CH_3)2S$, CH_3SSCH_3) kénsavvá oxidálódnak.

Az ÖNORM B 5017:2000 szabvány szerint a közműépítési beton esetén *oldódásos betonkorróziót* okoz a *talajvíz* ≤ 6,5 pH érték, ≥ 15 mg/liter CO_2-tartalom, ≥ 15 mg/liter NH_4^+-tartalom, ≥ 300 mg/liter Mg^{2+}-tartalom és °dH = 0-3 közötti német vízkeménység (azaz lágyvíz) esetén, a *talaj* > 200 mliter/kg savasság esetén (a határértékek lényegében megegyeznek az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 2. táblázata szerinti, az XA1 környezeti osztályra vonatkozó értékekkel, a talajvíz keménysége csak az osztrák XA1L környezeti osztály jellemzője). A °dH német vízkeménység jele Magyarországon: nk°.

Az ÖNORM B 5017:2000 osztrák szabványban a szennyvizek megengedett CO_2-tartalma a talajvizekre előírt értéknél kisebb. A szennyvíz és a tisztításából eredő CO_2-tartalma együttes mennyisége az XA2L környezeti osztályban legfeljebb 60 mg/liter, az XA3L környezeti osztályban legfeljebb 100 mg/liter lehet.

Az osztrák szabványban megjegyzik, hogy oldódásos betonkorrózió esetén a határértékek betartása mellett is számolni kell a beton felületén a cementkő réteg kopására és a betonfelület érdességének növekedésére, amely azonban szerencsés esetben az alkalmasságot nem befolyásolja.

Az oldódásos betonkorrózió veszélyének mértékéről legegyszerűbben az agresszívnak vélt víz pH értékének indikátor papírral történő meghatározásával (bár a pH önmagában nem mérce), vagy a – mérőhengerbe mészkőliszt por fölé öntött – víz mész-kioldó képességének megvizsgálásával alkothatunk képet. A talajvíz mintavétele során figyelni kell arra, hogy az esős időszakban vagy a hóolvadás idején sokkal kisebb a talajvíz agresszív hatóanyagainak koncentrációja, mint egyébként.

Az oldódásos korróziónak legjobban ellenálló beton összetételét kísérleti úton lehet meghatározni. A kísérlethez nagy felületű próbatesteket, általában lemezeket szoktak használni, amelyeket savas oldatba helyeznek. A savas oldat a felületi rétegből a meszet kioldja. Eközben a pH érték gyorsan növekszik, ezért annak állandó szinten tartásához az oldatot gyakran cserélni kell. A korrózió mélységét – hasonlóan a karbonátosodási mélység vizsgálatához – a törésfelület indikátor papíros vizsgálatával lehet meghatározni. Az oldódásos korrózió előrehaladása általában az idő négyzetgyökével arányosan lassul. Az ilyen három hónapig tartó kísérlet csak a különböző betonok összehasonlító vizsgálatára alkalmas, de arra nem, hogy bizonyosat mondjunk a beton várható, 100 éves tervezési élettartama alatt bekövetkező romlásáról, hiszen előre a korróziós hatások változása sem látható.

Az oldódásos korrózió elleni hatékony védekezés érdekében ajánlható, hogy ráhagyással kell az előírások szerinti határértékeken belül maradni. A 4,5-5,0 közötti pH értékű vízzel hosszú időn át érintkező betont legfeljebb 0,45 értékű víz-cement tényezővel, a cement tömegére vett 7 % szilikaporral, és a várható méret csökkenés figyelembevételével, 5-10 mm-rel megnövelt keresztmetszeti mérettel vagy betonfedéssel kell készíteni. Arra lehet számítani, hogy a 7 tömeg% szilikapor-tartalom hatására az oldódásos korrózió mélysége legfeljebb akkora, vagy kisebb lesz, mint a víz-cement tényező 0,5 értékről 0,4 értékre való csökkentésének a hatására. (*Springenschmid* 2007).

Az oldódásos korróziónak ellenálló beton, illetve cementkő meghatározása a legtöbb esetben szakértői feladat. Van olyan agresszív környezet is, amelynek káros hatásától betont általában bevonattal kell megvédeni, noha a különlegesen ellenálló kötőanyaggal készült nagyszilárdságú (NSZ), illetve nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű, NT) betonok bevonat nélkül is ellenállhatnak az oldódásos korróziónak, például hűtőtornyok esetén (*Springenschmid* 2007).

13.5. SZULFÁTOS VÍZ ÉS GÁZ OKOZTA *DUZZADÁSOS* BETONKORRÓZIÓ

Duzzadásos betonkorróziót elsősorban a gipszet vagy más szulfátot tartalmazó vizek, gázok okoznak, amelyek a szilárd betonba hatolva a cementkövet megtámadják, ami új ásványok (kalcium-szulfoaluminát-hidrátok) – mint a *másodlagos ettringit* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) vagy a *taumazit* ($CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$) – képződéséhez vezet.

Duzzadásos korróziónak kitett betonokat a szulfátion (SO_4^{2-}) tartalom alapján a *39. táblázat* szerint kell környezeti osztályba sorolni.

Szulfátos talajvíz hatására a szilárd cementkő monoszulfát összetevőjéből (egyik trikalcium-aluminát-hidrát fázis) *másodlagos ettringit képződés* indul el. A másodlagos ettringit kristályosodása során a térfogatát mintegy 2,5-szeresére növeli, és ezeknek a kristályoknak a jelentős duzzadása a betont szétrepeszti. Ezeket a tűkristályokat cementbacilus-nak is nevezik.

Minél több a cementben a trikalcium-aluminát-hidrát fázis, annál kevésbé szulfátálló, és annál hajlamosabb a szulfátos duzzadásra. Az aluminát-modulus (a cementklinker alumínium-oxid és vas-oxid összetevőinek hányadosa, AM = Al_2O_3/Fe_2O_3) csökkenésével a cement szulfátállósága nő, a szulfátálló cementek aluminát-modulusa legfeljebb 0,7, a mérsékelten szulfátálló cementeké legfeljebb 1,0 (MSZ 4737-1:2002). Ha a klinkerből a trikalcium-aluminát (C_3A, felit) ásvány hiányzik vagy kicsi a mennyisége, akkor a cement szulfátálló, a tetrakalcium-aluminát-ferrit (C_4AF, celit) mennyiség növekedésével viszont javul a cement szulfátállósága. Szulfátálló a CEM III/B-SR és a CEM III/C-SR jelű (**s**zulfát **r**ezisztens), mérsékelten szulfátálló a CEM III/A jelű kohósalakcement is (MSZ EN 197-1:2011). Ugyanakkor a szulfátálló cementek csak nagyon kis kloridion mennyiséget kötnek meg. A kohósalakcementek a beton szövetszerkezetét tömörré teszik, és ezzel csökkentik a szulfátok és más káros anyagok betonba diffundálását. Bizonyos mértékig a pernyeportlandcementek alkalmazása is javítja a betonok szulfátállóságát, azonban a karbonátosodás a klorid-megkötőképességet rontja, tehát ezt nem szabad túlértékelni.

Az adalékanyag szemek csillámpala-mentesek legyenek, mert a csillámpala gipsz-duzzadáshoz vezethet.

Kísérletek során megfigyelték, hogy a szulfát-oldatba helyezett betonhasábok nyúlása +10 °C hőmérsékleten nagyobb volt, mint +20 °C-on, és +40 °C hőmérsékleten a tiszta portlandcementtel készített betonhasábok nem is nyúltak. +10 °C hőmérséklet alatt a kohósalak-tartalmú cementtel készített betonhasábok nyúlása ugyan olyan nagy volt, mint a nagyobb C_3A-tartalmú portlandcementtel készült betonhasáboké. Ebből arra következtettek, úgy tűnik, hogy a kohósalakcementek szulfátállósága +10 °C hőmérséklet alatt nem érvényesül, és ezért – bár a kérdés még véglegesen nem tisztázott – a télen hosszabb ideig hideg hatásának kitett betonokat szulfát-duzzadás ellen más intézkedésekkel is óvni kell.

Az ÖNORM B 5017:2000 szabvány szerint a közműépítési beton esetén *duzzadásos betonkorróziót* okoz a *talajvíz* ≥ 200 mg/liter SO_4^{2-}-tartalom esetén és a *talaj* 2000 mg/kg összes SO_4^{2-}-tartalom esetén (a határértékek megegyeznek az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 2. táblázata szerinti, az XA1 környezeti osztályra vonatkozó értékekkel).

Duzzadásos betonkorróziót okoz a pangó vizek (például használaton kívüli kutak, lápok, tőzeges talajok stb. vize), a csatornákban a szennyvizek kéntartalmú szerves anyagainak (fehérjék) rothadásából képződő *kén-hidrogén gáz* (H_2S), amely a kénbaktériumok hatására, a levegő oxigénjének felhasználásával kénsavvá (H_2SO_4) és azután szulfáttá oxidálódik, ha a kénsav közömbösítésére alkalmas só van jelen. A szennyvíz csatornákban a korrózió általában a szennyvíz tükre felett jelenik meg.

Kén-hidrogén a kohósalakban is előfordulhat. A kén-hidrogén a betonacélra is fokozottan káros, mert vasszulfid (FeS) képződik és hidrogén ridegedés (az atomos hidrogén egy része bediffundál az acélrácsba és a kisebb zárványok mentén hólyagok jönnek létre) áll elő, és az acélbetét teljesen tönkremegy. (*Biczók* 1956).

Ha a megszilárdult betonba a levegőből jut kén-dioxid vagy kénessav, akkor az beépül a beton mintegy 10-15 mm vastag felületi rétegébe, és ott a cementkőben lévő kalcium-hidroxid kalcium-szulfáttá (gipsz) alakul át. A gipszképződés térfogat-növekedéssel jár, és a beton külső kérge összerepedezik.

Az ipari vasbeton hűtőtornyok kürtőfalának alsó részén az esetleg szulfátion-tartalmú hűtővízből elragadott vízcseppekből lecsapódó víz okoz duzzadásos szulfát korróziót: a cementalkotó kalcium-aluminát-hidrátok duzzadó kalcium-szulfoaluminát-hidráttá alakulnak.

Az ipari termelés és a közúti közlekedés NO_x (nitrogén-oxidok) kibocsátásával is jelentősen terheli a levegőt. A nitrogén-oxidok a légkörben salétromossavvá, majd salétromsavvá alakulnak. A NO_2 térben kezelt kísérleti C_3A- és C_4AF cement- és klinkerásvány minták 180 napos kezelés hatására szemmel látható károsodtak. Az előbbieknél porlás, majd végül a próbatestek szétesése következett be, utóbbiak esetén pedig felületi mállás. A C_3A-minták porló rétege a részletesebb vizsgálatok szerint monoszulfátból, C_3AH_6-ból, kalcium-karbonátból, kalcium-hidroxidból és jelentős mennyiségű nitrátsóból állt (*Balázs – Csányi* 2001).

Mindennemű kémiai korrózió megelőzéséhez meg kell ismerni az agresszív anyag töménységét, hatásának folyamatosságát és a szerkezet érzékenységét. Ha a talaj vízáteresztő-képessége kicsi (például agyagtalaj esetén), akkor például a savas vagy szulfátos talajvizek általában nem veszélyesek, mert a gyenge savakat a lúgos cementkő gyorsan semlegesíti, illetve utánpótlás híján kevés szulfátion lép reakcióba a cementkővel. Ha a talaj vízáteresztő-képessége nagy, a helyzet fordított és védekezni kell a szulfátkorrózió ellen. A védekezés szükségessége fokozottan fennáll, ha a savas vagy szulfátos vizek hatása folytonos és az ellenoldalon az átázott beton folyamatosan szárad. A korróziónak a nagy tömegű szerkezetek jobban ellenállnak, mint a vékonyak.

A duzzadásos betonkorrózió veszélyét a víz szulfidion (S^{2-}) tartalmának cink-acetátos meghatározásával mérhetjük fel. A talajvíz mintavétele során tekintettel kell lenni arra, hogy az esős időszakban vagy a hóolvadás idején sokkal kisebb a talajvíz szulfátion koncentrációja, mint egyébként. (*Springenschmid* 2007)

Összegezve: A betonra káros vegyi hatások különbözősége nem engedi meg, hogy általában a kemikáliáknak ellenálló betonról beszéljünk. Minden egyes esetben tisztázni kell, hogy a betonra várhatóan milyen agresszív anyagok fognak hatni, és ennek megfelelően kell a beton összetételét megtervezni és a betont összeállítani. Ez mindenféle betonkorrózióra igaz, hangsúlyozva, hogy a például a CEM II/A-L és a CEM II/B-L fajtájú mészkőliszt-portlandcementet az XA1L, XA2L és XA3L oldódásos korrózió környezeti osztályában szabad, de az XA1T, XA2T és XA3T duzzadásos szulfátkorróziós környezeti osztályban **nem szabad** használni (ÖNORM B 4710-1:2007 osztrák szabvány).

13.6. TAUMAZIT SZULFÁT BETONKORRÓZIÓ

Taumazit első sorban füstös, kénvegyületekkel és szén-dioxiddal szennyezett levegő hatásának kitett, eső verte betonokban képződik. A taumazit szulfát korrózió (TSA, Thaumasite sulphate attack) roncsolóhatása szabad szemmel is megfigyelhető: zöldes-fehér lepedék képződik a beton felületén, a beton elpépesedik, a szilárdsághordozó kalcium-szilikát-hidrát (CSH) ásványok gyorsan oldódnak, kötőerejük megszűnik, a beton a másodlagos ettringit duzzadáshoz hasonlóan duzzad és repedezik, a cementkő és a beton tönkremegy.

A kedvezőtlen körülmények között a betonokban, habarcsokban képződő – a természetben, Magyarországon is előforduló –, színtelen, fehér hexagonális taumazit ásványt *Nordenskiold* skandináv kutató fedezte fel 1878-ban. Az ásvány nevét – utalva a felfedezés váratlanságára – a *taumazen* görög szóból nyerte, azt jelenti, hogy meglepődni.

A taumazit összetett vegyület ($CaCO_3 \cdot CaO \cdot SiO_2 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$), amelynek gyakorlatilag nincs szilárdsága. Előfordulását az építőiparban először az Egyesült Államokban, 1965-ben betonfalú szennyvíz csatornában, járdaburkolat alatti ágyazóhabarcsban, hulladékégető kéményének tönkrement habarcsanyagában, 1969-ben, Angliában lakóházak mészkőtartalmú és gipszvakolatainak érintkezési helyein, majd az 1990-es években autópálya vasbeton híd oszlopainak talajszínt alatti részén figyelték meg, és azóta számos más országban is észlelték. Eddig taumazit korrózió elsősorban szulfátos agyagtalajba ágyazott betonokon, vasúti és közúti

alagutak betonján, tengervízzel érintkező betonokon, füstös, kénvegyületekkel és szén-dioxiddal szennyezett levegő hatásának kitett, eső verte betonokon, valamint habarcsokon, főképp műemlék épületek javítóhabarcsain jelentkezett.

A taumazit korrózió létrejöttéért tulajdonképpen nem, illetve nem csak az adalékanyag a felelős. Keletkezésének elsődleges kockázati tényezői a szulfát- (SO_4^{2-}) vagy szulfidionok (S^{2-}) jelenléte a talajban, esetleg a levegőben, a szulfáttartalmú vizek vagy kőanyagok (például oxidálódni képes pirit) szulfát-támadása, a karbonát-ionok (CO_3^{2-}) az adalékanyagban (például mészkőliszt kiegészítőanyag jelenléte esetén) vagy szén-dioxid (CO_2) a levegőben vagy a talajvízben, a nedves környezet, vízáramlás (például csapadékvíz vagy betoncsőben szállított víz), a +15 °C alatti hőmérséklet. Másodlagos kockázati tényező a kalcium-szilikát-hidrát fázisban ($3CaO{\cdot}2H_2{\cdot}2SiO_3{\cdot}2H_2O$) vagy hidratálatlan trikalcium-szilikátban (C3S), lassan hidratálódó dikalcium-szilikátban (β-C2S) gazdag cement, a kisebb szilárdságú beton, a talaj, illetve talajvíz kémiai összetételének megváltozása, a betonszerkezet sarkai és élei, a talajszint alatt lévő betonszerkezeti elemek. (*Springenschmid* 2007).

A taumazit szulfát korrózió korai felismerése rendkívül nehéz és a kialakulása elleni hatásos védelem kidolgozása is még várat magára.

A taumazit korrózióra hazánkban *Révay* (2001, 2005) hívta felé a figyelmet, majd a taumazit okozta betonkárosodással kapcsolatos irodalmat *Laczkóval* elemezte (2006). *Révay* (2005) szerint a budapesti Keleti pályaudvartól és a közeli gumigyártól széllirányban fekvő, 1953-ban megnyitott Népstadion (2002. óta Puskás Ferenc Stadion) mészkőportlandcement (akkori nevén szigma-cement) felhasználásával készült betonjának tönkremenetele taumazit korrózió, amelyet valószínűleg a Keleti pályaudvaron egykor veszteglő gőzmozdonyok és a gumigyár füstje okozott.

Magyar Országos Szabvány 1942. július	Fémhuzalszövetek ellenőrző szitákhoz. Méretezések.	MOSz 695 :1942

A szabvány hatálya.

1. §.

A szabvány hatálya kiterjed a szemcsés vagy porállapotú anyagok nagyság szerint való osztályozás ellenőrzését szolgáló sziták fémhuzalszöveteire.

A huzalközök és azok megengedett eltérései.

2. §.

Huzalátmérők és azok megengedett eltérései.

4. §.

Az egyes huzalközöknek megfelelő huzalátmérők értékét a táblázat 5. rovata tünteti fel. Kivételt képeznek a legfinomabb szitafémszövetek, amelyeknél a huzalátmérőt a gyáros legjobb belátása szerint választhatja, hogy oly megfelelő szövetet kapjon, amelynek huzalközei ~ 0,038 és 0,042 mm közé esnek.

DK 691.07

Magyar Népköztársasági Országos Szabvány	Beton és alapanyagainak vizsgálata	MNOSZ 934—49 :1949
		Építési anyagok G 13

E szabvány hatálya kiterjed a belföldön előállított, ill. forgalombahozott betonnak és alapanyagainak vizsgálatára.

Tartalom

1. Meghatározás, a keverőarány, a betonvizsgálat rendeltetése

1.1 Meghatározás

1. Meghatározás, a keverő arány, a betonvizsgálat rendeltetése

1.1 Meghatározás

A beton hidraulikus kötőanyagból, vízből és

DK 691.5

Magyar Népköztársasági Országos Szabvány	OSZTÁLYOZOTT BETONADALÉKANYAGOK Homokos kavics, természetes kövek aprításából nyert zuzalék és zúzott kő	MNOSZ 1992—51 :1951
	Osztályozás. Mintavétel. Átvétel	G 17

1. A szabvány tárgya és hatálya

E szabvány hatálya kiterjed a beton készítéséhez használt minden belföldön termelt, illetőleg forgalomba hozott adalékanyag szemnagyság szerinti jelölésére, osztályozására, minőségi követelményeire, vizsgálatára és átvételére.

2. Homokos kavics szemnagyság szerinti osztályozása

1	2		3
Az adalékanyag	Kisebb	Nagyobb	
	nyílású rostán		Az iszap- és agyag-

14. FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁG VIZSGÁLAT

Az utóbbi mintegy fél évszázad alatt a beton fagyállóságának megítélésében sok változás történt. Bevezették az utak téli jégolvasztó-sózását, megjelentek és elterjedtek a légbuborékképző adalékszerek, fejlődött a tudomány és a műszerezettség, külön hangsúlyt kapott a tartósság és a védekezés a káros környezeti hatások ellen, korszerűsödtek a vizsgálati eszközök és módszerek (például roncsolásmentes vizsgálati módszereket dolgoztak ki a fagyási folyamat követésére), legutóbb pedig a nemzeti szabványokat az európai szabványok váltották fel.

14.1. BETON FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Az egykori MSZ 4715:1955 és MSZ 4715:1961 szabvány 25 fagyasztási ciklust írt elő. A fagyasztás időtartama -20 °C léghőmérsékleten legalább 6 óra volt, amelyet legalább 6 órán át tartó vízben történő olvasztás követett (+15) – (+20) °C vízhőmérsékleten. A fagyállóságot a tömegveszteségből vagy az etalon próbatestek nyomószilárdságához viszonyított nyomószilárdság vizsgálati eredményből határozták meg. A betont fagyállónak tekintették, ha a nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 10 % volt. Az MSZ 4719:1958 szabvány a 25 fagyasztási ciklust kiállott betont fagyálló betonnak, az 50 fagyasztási ciklust kiállott betont különlegesen fagyálló betonnak nevezte.

Az MSZ 4715-3:1972 szabvány szerint a 150 bar nyomással telített próbatestek fagyállósági vizsgálatát vízben vagy levegőn végzett fagyasztással és vízben történő olvasztással kellett végezni. (A levegőn fagyasztott próbatestekből a víz párolog, ezért a vízben történő fagyasztás a szigorúbb.) Az MSZ 4715-3:1972 szabvány esetén a fagyasztási ciklusok száma 15, 25, 50, 100 vagy 150 volt. A fagyasztási idő kezdetét a jégben vagy légtérben attól az időponttól kezdve számították, amikor a tér minden pontja elérte a – (20±3) °C hőmérsékletet. A fagyasztás legalább 4 órán át tartott. Az olvasztás attól az időponttól kezdve, amikor a víztér minden pontja elérte a + (20±3) °C hőmérsékletet, legalább 2 órán át tartott vízben. A vizsgálat eredményeként azt a ciklusszámot határozták meg, amelynél a próbatest tömegvesztesége vízzel telített állapotban mérve elérte az 5%-ot. Szilárdság vizsgálattal egybekötött fagyállóság vizsgálat esetén határértéknek azt a legkisebb ciklusszámot tekintették, amelyiknél a vízzel telített, fagyasztott próbatest nyomószilárdsága legalább 25 %-kal kisebb, mint az egyidejűleg vizsgált, vízzel telített ellenőrző próbatest nyomószilárdsága.

Az MSZ 4719:1977 és az MSZ 4719:1982 szabvány a 25, 50, 150 fagyasztás-olvadási ciklusnak ellenálló betonokat ismerte, és fagyállóságukat f 25, f 50, f 150 jellel jelölte.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, illetve fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton belső szerkezeti sérülését („A” eset), vagy a beton felületi hámlását („B” eset) vizsgálja. Az „A” eset az MSZ EN 12371:2002 szabványt követi, a „B” eset hasonló az MSZ EN 1338:2003 szabvány D mellékletében leírt eljáráshoz.

A fagyállóságot, illetve a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint a következőképpen kell vizsgálni és értékelni, amelyhez megjegyzést is fűzünk:

– Az XF1 és az XF3 környezeti osztály esetén, ahol csak fagyhatás éri a betont, – ha a fagyállóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A”* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. *Véleményünk szerint* a betonösszetétel határértékeivel történő előírás csak az XF1 környezeti osztályban engedhető meg;

– Úgy véljük, hogy az XF3 környezeti osztályban a fagyállóság vizsgálatot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*A*” esete szerint el kell végezni, ha a légbuborék szerkezetet (légbuborék eloszlás és távolsági tényező) nem határozzák meg;
– Az XF2 és az XF4 környezeti osztály esetén, ahol fagy- és olvasztósó-hatás éri a betont, – ha a fagy- és olvasztósó-állóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. Ha megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat elhagyásában, és a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék eloszlását és távolsági tényezőjét kell meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. *Véleményünk szerint* az XF2 és XF4 környezeti osztályban nem elegendő a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetve a betonösszetétel határértékeivel előírni, hanem el kell végezni az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerinti vizsgálatot, amely az XF2 környezeti osztály esetén elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák. Az XF4 környezeti osztályban ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is;
– Az XF2(H) környezeti osztály esetén a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*B”* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni;
– Az XF3(H) környezeti osztály esetén a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*A”* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagyállóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni.

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje tehát javaslatunk szerint a *42. táblázat* szerinti legyen. A *42. táblázatban* javasolt vizsgálati rend érvényre juttatásához az MSZ 4798-1:2004 szabvány átdolgozása lenne szükséges.

A beton fagy- és olvasztósó-állóságának követelménye az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszában található. A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálathoz 100 m^3 beton-térfogatonként, vizsgálatonként legalább 1 db, de tételenként legalább 3 db próbatestet kell készíteni. A fagyállóság vizsgálathoz szükséges referencia próbatestek darabszáma ugyanennyi kell, hogy legyen.

42. táblázat: A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje (javaslat)

Környezeti osztály	Olvasztósó hatás éri a betont	A beton felülete	Vizsgálati rend
XF1	Nem	Függőleges	Megengedhető a betonösszetétel határértékeivel történő előírás
XF2	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF3	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A”* esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF4	Igen	Vízszintes	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint és ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is
XF2(H)	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint
XF3(H)	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A”* esete szerint

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A” esete* szerint, ha a beton fagynak ki van téve, de olvasztósó hatása nem éri (azaz környezeti osztálya XF3), akkor a megszilárdult beton fagyállóságát legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken, légtérben történő fagyasztással és víz alatti olvasztással kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány módszerét alkalmazva. Ezt az eljárást felváltotta a „belső szerkezeti fagykárosodásokat” vizsgáló európai eljárás, amelyet európai műszaki jelentés (MSZ CEN/TR 15177:2009) formájában tettek közzé.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B” esete* szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagynak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. „hámlasztásos” (vagy „felületi mállási”) eljárással vizsgálni. A peremes hámlasztásos vizsgálatot az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány referencia módszere szerint célszerű végezni. A peremes hámlasztásos vizsgálat hazai tapasztalatok szerint túlzottan erős hatása folytán elsősorban összehasonlító jelleggel alkalmazható.

1. Megjegyzés: A CEN/TR jelet európai műszaki jelentések kapnak. A CEN/TR jelű műszaki jelentések olyan útmutatókat, tájékoztató adatokat tartalmaznak, amelyek a szabványok alkalmazását támogatják, de tartalmuk nem alkalmas arra, hogy szabványosított követelmények legyenek (*Szabó* 2006).

2. Megjegyzés: A CEN/TS jel európai műszaki előírást takar, és tulajdonképpen a prEN előszabvány (szabványtervezet) jel helyett vezették be. Általában akkor alkalmazzák, ha az előszabvány az EN szabvánnyá váláshoz nem kapja meg a kellő támogatást vagy a hivatalos szavazásra való előterjesztésre megadott határidőn belül nincs közmegegyezés. Három éven belül felül kell vizsgálni, hogy EN-szabvánnyá átdolgozható-e. Nemzeti szabványként nem kötelező bevezetni, de nemzeti szinten hozzáférhetővé kell tenni. A bevezetett CEN/TS státusa a nemzeti címoldal szerint „szabvány”. Bevezetésekor a korábban meglévő, azonos tárgyú nemzeti szabványokat nem kell visszavonni (*Szabó* 2006).

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 európai műszaki előírás szerinti hámlasztásos vizsgálattal – mások mellett – *Erdélyi – Csányi – Kopecskó – Borosnyói – Fenyvesi*, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék kutatói acélszálas betonok fagy- és olvasztósó-állóságának tanulmányozása során végeztek széleskörű kísérleteket (2007 és 2008). A kísérlet során különböző módszereket alkalmaztak. Ezek közül a legszigorúbb (a szabványos eljárásokhoz képest is) az a kapilláris felszívásos hámlasztási vizsgálat volt, amelynek során a félig sóoldatba merített, fekvő hasábokat, hossztengelyük mentén, 8 ciklusonként 90º-kal elforgatták. Ezáltal a 32 ciklus alatt minden oldal egyszer felülre került, és felfelé párologtathatott, másszor alulról szívhatta a sóoldatot. Megállapításaik közül kiemeljük, hogy

- „a 45-65 N/mm^2 nyomószilárdságú beton légbuborékképzőszer és légbuborék rendszer nélkül nem fagyálló, és az acélszál adagolás ezen gyökeresen nem segít;
- az 56 ciklusos hámlasztásos módszer szigorúbb, mint a szokásos, nyugvó oldatba merített testek fagyasztása-olvasztása és minősítése a tömegveszteség és a szilárdságcsökkenés alapján. A 28 ciklusos kapilláris felszívásos hámlasztás (CDF módszer) ciklusszáma – amelyet például az útburkoló betonelemekre az MSZ EN 1338:2003 elő ír, különösképpen az MSZ EN 1340:2003 szerinti beton szegélykövek esetén – elégtelen;
- a kezdeti rugalmassági modulus fagyasztás-olvasztás hatására 30-40 %-ot csökken a kiindulásihoz képest, és az értékek nagyon szórnak;
- a beágyazott acélszálak nem rozsdásodnak, és a hámlást a szabaddá váló, sóoldattal érintkező szálak rozsdanyomása nem fokozza. Az acélszálak a hámlást csökkentik;
- a beton vízzárósága a fagyasztás után is megfelelő volt;
- az acélszál-tartalom az egész betonszerkezet korróziós veszélyeztetettségét kissé növeli a szál nélkülihez képest, mert a beton fajlagos villamos ellenállása csökken: legkisebb sótelített állapotban, nedvesen;
- a kloridion-tartalom a soha nem sózott, nem fagyasztott kontroll mintákban elhanyagolható. A sóoldatban fekvő, fagyasztott mintákban a cementtartalomra vonatkozó becsült kloridion-tartalom 1,5-2 m% közötti: ez kevesebb, mint amennyit tengervízzel fröcskölt betonszerkezetekben mértek. Kimutatható, hogy a Cl^-/SiO_2 arány a nagyobb zárványossággal növekszik.”

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*B” esete* szerinti peremes hámlasztásos fagyasztási vizsgálatot az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban szereplő referencia módszer alkalmazásával kell végezni. Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban egy referencia (*peremes hámlasztás*) és két alternatív (*bemerítéses leválási és kapilláris felszívásos hámlasztási*) fagyasztási vizsgálati módszer található. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók. A *kapilláris felszívásos alternatív vizsgálat* során a próbatesteket egyirányú kapillárisfelszívásnak teszik ki, és ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak* (**C**apillary suction of water and **F**reeze thaw test), ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* (**C**apillary suction of **D**eicing solution and **F**reeze thaw test) nevezik. (A kapilláris felszívásos alternatív CDF-vizsgálat a bemerítéses alternatív vizsgálatnál szigorúbb,

mert a kapillárisokba felszívódó sóoldat párolgásával a nátrium-klorid a pórusokban feldúsul, és repesztőhatása növekszik.) A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma általában 56, kivéve a kapilláris felszívásos alternatív vizsgálatot, ha a fagyasztóközeg nátrium-klorid oldat (CDF-vizsgálat), mely esetben a ciklusszám 28. Megegyezés szerint vagy a referencia módszert, vagy a két alternatív módszer egyikét, kétség esetén mindig a referencia módszert kell alkalmazni. A három vizsgálati módszerrel kapott eredmény között nincs összefüggés. A peremes hámlasztás referencia módszere nagy hasonlóságot mutat az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti hámlasztásos, „B" módszerrel. A szabvány követelmény értéket nem tartalmaz, irodalmi ajánlások alapján (*Setzer, 1990)* fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a CDF-vizsgálat során 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m^2. Ez a követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes, kifúrt magminták esetén (a beton kora, igénybevétele stb. miatt) nem alkalmazható (*Lang* 2003; *Bollmann – Lyhs* 2005; *Bilgeri* et al. 2007).

A fagyasztás–olvasztás hatására (modell-folyamat) a beton, illetve cementkő belső szerkezete (struktúrája) sérül, és ennek mértékét a beton „alaptulajdonságaira" (szilárdság, rugalmassági modulus stb.) roncsolásos és roncsolásmentes módszerrel lehet meghatározni. *Roncsolásos módszerként* – mint említettük – elsősorban a nyomószilárdság vizsgálatot alkalmazzák, de ajánlható az annál érzékenyebb hajlító-húzószilárdság vizsgálat is.

Roncsolásmentes módszer az ultrahang terjedési idő és a rezonancia-frekvencia mérés, amelyek eredményei a hosszirányú dinamikai rugalmassági modulus ($E_{\text{din,L}}$) változásáról adnak képet. „A fagyasztás során a mikro-repedések miatt a *Poisson*-szám megváltozik, ezért az ezt figyelembe vevő rezonancia-frekvenciás módszer megbízhatóbb, mint az ultrahangos eljárás. Amerikai kutatók rezonancia-frekvenciás méréssel mutatták ki, hogy a 350–400 kg/m^3 cementadagolású, légbuborékképzős kísérleti betonjaik kezdeti rugalmassági modulusa 300 fagyasztási ciklusig lényegében nem változott, de a légbuborékképző nélküli betonok nagy részének kezdeti rugalmassági modulusa 150 – 300 fagyasztási ciklus között az eredetinek 60 %-a alá esett. Svéd kutatók 40 – 140 N/mm^2 közötti nyomószilárdságú betonok fagyasztása során azt tapasztalták, hogy míg a légbuborékképző nélküli betonok önrezgésszáma 250 fagyasztási ciklus után kezdett csökkenni, és a megindult repedezés miatt a kezdeti rugalmassági modulus a kiindulásinak 80 %-ára csökkent, addig a légbuborékos betonok és az agyagkavics adalékanyagú könnyűbetonok rugalmassági modulusa 10 %-nál kevesebbet változott." (*Erdélyi* 1996)

A beton belső szerkezete (struktúrája) fagyhatásra történő változásának (zavarának, sérülésének, károsodásának) vizsgálatával az MSZ CEN/TR 15177:2009 európai műszaki jelentés foglalkozik. A műszaki jelentés *Setzer* (2004) munkáján alapul. A fogalom-meghatározás szerint „belső szerkezeti zavar" vagy „belső szerkezetsérülés" alatt olyan repedések keletkezését kell érteni, amelyek kívülről nem láthatók, mégis a betontulajdonságok változását (például a dinamikai rugalmassági modulus csökkenését) okozzák. A műszaki jelentés kidolgozói úgy vélik, hogy a gyakorlatban előforduló fagyási-olvadási feltételeket egyetlen vizsgálati módszerrel modellezni nem lehet, ezért három eljárást tesznek közzé, amelyek különböző európai országokban beváltak, és mindig megfelelő eredményekre vezettek. Ezek az eljárások arra nem értek meg, hogy valamelyiküket referencia vizsgálatként jelöljék meg, ezért ha két laboratórium azonos betont vizsgál, akkor a vizsgálati módszerben és mérési eljárásban meg kell, hogy állapodjon. Követelmény értékek alkalmazásához módszerenként meg kell határozni a laboratóriumi vizsgálati eredmények és a beton gyakorlati állapota közötti összefüggést, ugyanis a három vizsgálati módszer eredménye között nincs szoros korreláció. Az MSZ CEN/TR 15177:2009 európai műszaki jelentés a hasáb-vizsgálatot, a lemez-vizsgálatot és a CIF-vizsgálatot (**C**apillary suction **I**nternal damage and **F**reeze thaw test) tartalmazza. Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti vizsgálatok alapvetően hasonlítanak

az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegveszteséget, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását, illetve esetenként a hosszméret-változást és kiegészítésként a vízfelvételt kell meghatározni. Ezeket a vizsgálatokat a fagyállóság vizsgálat előtt (kezdeti mérési eredmény), majd a (7 ± 1), (14 ± 1), (28 ± 1), (42± 1) és 56 olvasztási ciklust követően kell elvégezni.

A roncsolásmentes vizsgálatok relatív eredményének (f_n/f_0) négyzete arányos a relatív dinamikai rugalmassági modulussal (RDM):

A relatív dinamikai rugalmassági modulus a *keresztirányú önrezgésszám* mérése esetén az *n*-edik fagyasztási-olvasztási ciklus után:

$RDM_{FF,n} = (f_n/f_0)^2 \cdot 100$ [%]

ahol:

f_n a keresztirányú önrezgésszám az *n*-edik olvasztási ciklus után, [s^{-1}]
f_0 a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) keresztirányú önrezgésszám, [s^{-1}]

A relatív dinamikai rugalmassági modulus az *ultrahang terjedési idejének* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$RDM_{UPTT,n} = (t_{S,0}/t_{S,n})^2 \cdot 100$ [%]

ahol:

$t_{S,0}$ a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) ultrahang terjedési idő, [μs]
$t_{S,n}$ az ultrahang terjedési idő az *n*-edik olvasztási ciklus után, [μs]

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *hasáb-vizsgálat* során a sablonban készült 400·100·100 mm méretű próbahasábokat 1 napos korban ki kell zsaluzni, 7 napos korig műanyagfóliába csomagolva levegőn, majd kicsomagolva 7 napos kortól 28 napos korig víz alatt kell tárolni. A „*bemerítéses*” fagyállóság vizsgálatot a vízből való kiemelés után legkésőbb 2 órával el kell kezdeni, és az erre a célra készített próbatest közepén mért hőmérséklettel a fagyasztási diagramot követve kell végezni. A fagyasztóközeg ionmentes víz, a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hullámokat elnyelő anyagra (például habanyagra) fektetett hasábokon keresztirányban a relatív önrezgésszám és hosszirányban a relatív ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *lemez-vizsgálat* 150·150·50 mm méretű próbatestét 150 mm méretű, 1 napos korban kizsaluzott, 7 napos korig víz alatt, azt követően 28 napos korig klímaszekrényben tárolt próbakockából, 21 napos korban, a próbakocka lesimított felületére merőlegesen kell kivágni. A vizsgálati felület a kocka felezősíkjának vágott felülete. A kivágott próbatest alsó lapjára és oldalaira – a vizsgált 150·150 mm méretű, vágott lap kivételével – gumilapokat kell ragasztani, amelyek az oldalakon peremet képezve 20 mm-rel túlnyúlnak, és külső hőszigetelést kapnak. A „*peremes*” fagyállóság vizsgálat 28 napos korban, a vizsgált felület ionmentes vízzel, 72 órán át tartó telítésével kezdődik, és a fagyasztószekrényben folytatódik. A peremek közé kerülő fagyasztóközeg ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat, amelynek rétegvastagsága 3 mm. A hőmérsékleti diagramot a fagyasztóközegben, a vizsgált felület közepén mért hőmérséklettel kell követni. A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hosszméret-változást (referencia-vizsgálat) három-pontos, mérőórás eszközzel, két szemben lévő oldallapra erősített mérőpont között kell vizsgálni. A keresztirányú önrezgésszámot (alternatív vizsgálat) a vizsgált 150·150 mm méretű felületen, az ultrahang terjedési időt (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni, miközben a próbalemez habanyagon fekszik.

A lemez-vizsgálat során a hosszméret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *CIF-vizsgálat* próbatesteinek mérete, tárolása és a fagyállóság vizsgálat lényegében megegyezik az MSZ EN 12390-9:2007 szabvány szerinti „*kapilláris felszívásos*” vizsgálattal. A fagyasztás a 28 napos korban kezdett, 7 napig tartó, (20 ± 2) ºC hőmérsékleten végzett folyadék-felszívást követően kezdődik. A fagyasztóközeg a vizsgálótartályban lévő 10 mm rétegvastagságú ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat. A CIF-vizsgálat során az ultrahang terjedési időt (referencia-vizsgálat) a például plexi tartóba helyezett próbatest két-két szemben lévő oldallapja között, a hosszméret-változást (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni. A keresztirányú önrezgésszám (alternatív vizsgálat) vizsgálatához a próbatestet a vizsgált 140·150 mm méretű vizsgálati felülettel lefele a hullámnyelő habanyagra kell fektetni, és a keresztirányú önrezgésszámot a felső felületen kell vizsgálni. A CIF-vizsgálat során a hosszméret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Végül a betonok fagy- és olvasztósó-állóságával kapcsolatban megjegyezzük, hogy az – mint ismeretes – a beton áteresztőképességének is függvénye. A beton áteresztőképességéről, illetve a sóoldat kapilláris felszívódásáról a kloridionok behatolásával szembeni ellenállóképesség ASTM C 1202:2012 szabvány szerinti 6 órás gyorsvizsgálata adhat tájékoztatást. (*Balázs L. – Kausay* 2008-2009)

14.2. Felületi bevonat fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata

A *betonszerkezetek védelmére és javítására* szolgáló cement (CC: Cement-Concrete), műanyag-cement (PCC: Polimer-Cement-Concrete) és műanyag (PC: Polimer-Concrete) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy-, olvasztósó- és hőállóságának vizsgálatára külön szabványokat dolgoztak ki (MSZ EN 13687 sorozat). A próbatestek előírt módon szilárdított felületi bevonatokkal (feltehetően a vizsgálati felületen) ellátott 300·300·100 mm méretű, MSZ EN 1766:2000 szerinti referencia betonból készített lapok, amelyeket a vizsgálat előtt a hátoldal és az oldallapok folyadékfelvétele ellen a vizsgált 300·300 mm méretű felület kivételével hőre szilárduló gyantával kell bevonni. A próbatestek száma három, ebből egy referencia próbatest. A vizsgálatok ciklusszáma 10, a ciklusokat az MSZ EN 1504-2:2005, illetve MSZ EN 1504-3:2006 szabványban előírtak szerint egyszer kell megismételni. (Az előírt 20 ciklus a hazai időjárási körülmények között nem feltétlenül elegendő.) A próbatesteknek a vizsgálatot meghibásodás és elváltozás nélkül kell viselniük. A fagyasztási-olvasztási ciklusok után a próbatesteket laboratóriumi körülmények között [(21 ± 2) °C levegő hőmérséklet és (60 ± 10) % relatív levegő nedvesség-tartalom] legalább 7 napon át kell tárolni, majd ezután meg kell vizsgálni a felületi bevonat, illetve rendszer tapadó-húzószilárdságát az MSZ EN 1542:2000 szabvány szerint. Ha a bevonat a gyakorlatban függőleges felületre kerül, akkor a tapadó-húzószilárdság átlaga legalább 0,8 N/mm^2, legkisebb értéke legalább 0,5 N/mm^2; ha terhelés nélküli vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,0 N/mm^2, a legkisebb érték legalább 0,7 N/mm^2; ha terhelt vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,5 N/mm^2, a legkisebb érték legalább 1,0 N/mm^2 kell legyen.

Az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek olvasztósó oldatba merítéses fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatával foglalkozik. A fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű telített nátrium-klorid oldatban, az olvasztás (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben történik. Mindkét fázis hossza 2 óra, a ciklusidő tehát 4 óra.

MSZ EN 13687-3:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek fagy- és hőállósági vizsgálatát írja le, olvasztósóoldat hatása nélkül. A vizsgálat referencia-eszköztára (-15 ± 2) °C hőmérsékletű fagyasztó légtér, (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízfürdő és (60 ± 2) °C hőmérsékletű melegítő légtér előállítására alkalmas berendezésekből áll, amelyek között a próbatesteket kézzel mozgatják. A vizsgálat programozható fagyasztó-temperáló-fűtő berendezéssel is végezhető. A ciklus kézi mozgatású vizsgálat esetén a következő fázisokból áll: 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 4 óra fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben, 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 16 óra hevítés (60 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben. A ciklusidő tehát 24 óra. Programozható berendezés alkalmazásakor a lehűtés és felmelegítés időigénye miatt a hevítés ideje 10 óra, a fagyasztás és felhevítés között a vízfürdő ideje 75 perc, a hőntartás után 105 perc. A ciklusidő ez esetben is 24 óra. (*Balázs L. – Kausay* 2008-2009)

Összegezve: Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, illetve fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton *belső*, szerkezeti sérülését (*„A" eset*), vagy a beton *külső*, felületi hámlását (*„B" eset*) vizsgálja.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A" esete* szerint a vízszintes felületű beton fagyállóságát, ha a beton olvasztósó hatásának nincs kitéve, (azaz környezeti osztálya XF3) a legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány szerint. Ezt az eljárást idővel fel fogja váltani a belső szerkezeti fagykárosodásokat vizsgáló európai módszer, amely jelenleg még csak európai műszaki jelentés (MSZ CEN/TR 15177:2009) formájában érhető el.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B" esete* szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagynak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. peremes hámlasztásos eljárással vizsgálni az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány referencia módszere szerint. Ebben a szabványban a referencia módszeren kívül két alternatív fagyasztási vizsgálati módszer található, az egyikkel a bemerítéses leválás, a másikkal a kapilláris felszívásos hámlasztás vizsgálható. Az utóbbit, ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak*, ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* nevezik. Irodalmi ajánlások alapján fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a laboratóriumi próbatesten végzett CDF-vizsgálat során, 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m^2. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 műszaki jelentés hasáb-vizsgálatot, lemez-vizsgálatot és a *CIF*-vizsgálatot tartalmazza. Ezek a vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegveszteséget, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását kell meghatározni.

A betonszerkezetek védelmére és javítására szolgáló cement (CC), műanyag-cement (PCC) és műanyag (PC) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálatát az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány szerint, fagy- és hőállóság vizsgálatát az MSZ EN 13687-3:2002 szabvány szerint kell elvégezni. A fagy és a hő hatását a tapadó-húzószilárdságra gyakorolt hatással fejezik ki.

15. VÍZZÁRÓSÁG VIZSGÁLAT

Az MSZ 4715-3:1972 szabvány és az MSZ 4719:1982 szabvány melléklete szerinti vízzárósági vizsgálatot az MSZ EN 12390-8:2001 (ma MSZ EN 12390-8:2009) európai szabvány szerinti vizsgálat váltotta fel (*Balázs L. – Kausay* 2010).

A beton vízzáróságát az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány szerint, legalább 28 napos korú, kizsaluzástól végig víz alatt tárolt próbatesten, 75 mm átmérőjű körfelületen 72 ± 2 órán át ható 5 bar (0,5 ± 0,05 N/mm^2) állandó víznyomáson kell vizsgálni. A próbatest víznyomásra merőleges, tehát vizsgált oldalának hossza vagy átmérője legalább 150 mm, magassága legalább 100 mm legyen, következésképpen az európai vízzáróság vizsgálatot a Magyarországon szokásos 200·200·120 mm méretű próbatesten is el lehet (el szabad) végezni, de ugyanígy alkalmas a 150 mm élhosszúságú szabványos próbakocka is (MSZ 4798-1:2004).

Minthogy a víznyomásnak kitett felület átmérője megközelítőleg fele akkora kell legyen, mint a próbatest víznyomásra merőleges mérete, következik, hogy ha a próbatest mérete 200·200·120 mm, akkor 100 mm átmérőjű körfelületen is szabad az 5 bar víznyomást alkalmazni, de ebben az esetben a vizsgálati jegyzőkönyvben a próbatest méretét és a vízzel nyomott körfelület átmérőjét is meg kell adni (MSZ 4798-1:2004).

A próbatest víznyomásnak kitett felületét közvetlenül a kizsaluzás után drótkefével fel kell érdesíteni.



42. ábra: Korszerű vízzáróság vizsgáló berendezés a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában

Bár az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány a kizsaluzás után a vizsgálatig víz alatt tárolt próbatestek vizsgálatára vonatkozik, az MSZ 4798-1:2004 szerint Magyarországon szabad a vízzárósági próbatestet vegyesen, azaz a kizsaluzástól 7 napos korig víz alatt, utána laborlevegőn tárolni – ha ebben előzetesen írásban megállapodás születik –, de ebben az esetben a vizsgálati jegyzőkönyvben a tárolás módját (vegyesen tárolva) is meg kell adni. A kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbatesteken – a vegyesen tároltakéhoz képest – a jobb hidratáció és a kisebb zsugorodás folytán kisebb vízbehatolási mélység várható. Ha a beton a homogén cementnél lassabban szilárduló heterogén cementtel készül, akkor

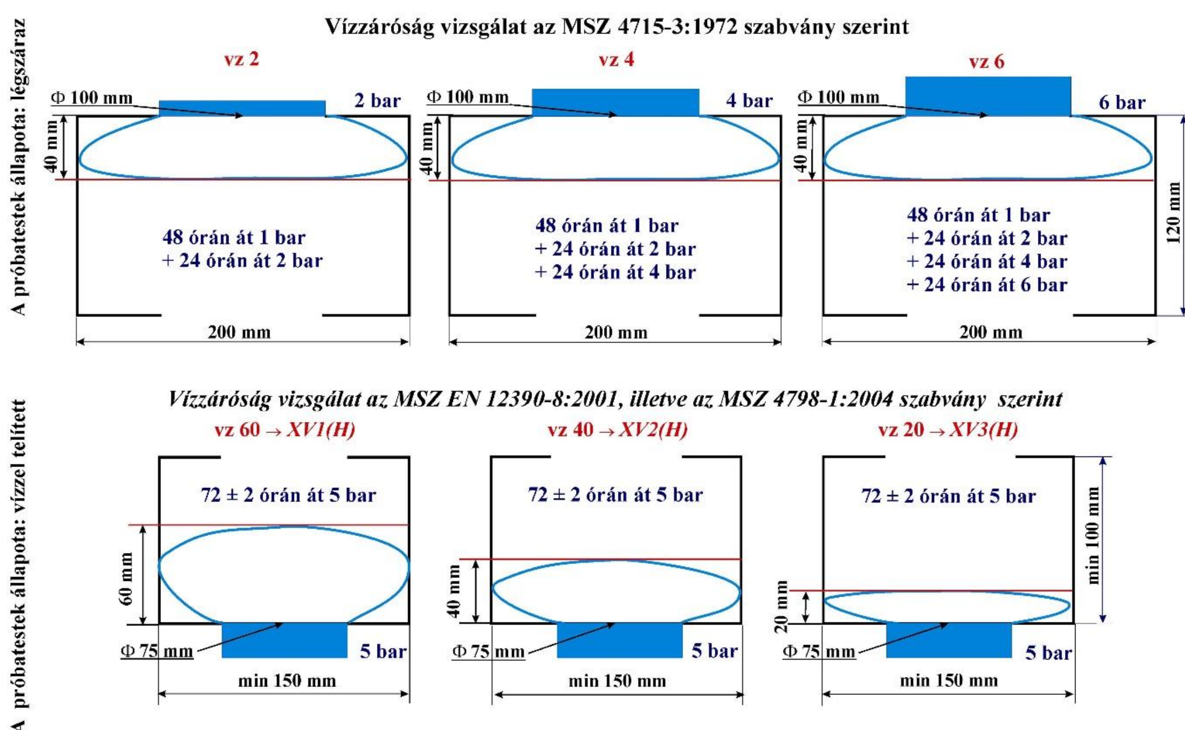
a kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbatestek vizsgálati eredményeit ajánlott mértékadónak tekinteni.

A vízzáróság vizsgáló berendezésbe a próbatestet a víznyomásnak kitett felületével lefele kell elhelyezni (*42. ábra*), így jól megfigyelhető, ha a felső felületen víz jelenik meg.

Közvetlenül a vizsgálat végén a berendezésből kivett próbatest víznyomásnak kitett oldalát le kell itatni, és a próbatestet a víznyomásnak kitett felületére fektetve függőlegesen ketté kell hasítani. Miután a hasított felület annyira megszikkadt, hogy a vízbehatolás határát jól meg lehet figyelni, a legnagyobb vízbehatolás mértékét mm pontossággal meg kell mérni.

A vízzáróság vizsgálathoz 100 m^3 beton-térfogatonként legalább 1 db, de tételenként legalább 3 db próbatestet kell készíteni és a tétel jellemzésére értékelni.

A vízzáróság fogalmának és vizsgálatának régi és új értelmezését a *43. ábrán* vetjük össze.



43. ábra: A vízzáróság fogalmának és vizsgálatának régi (MSZ 4715-3:1972) és új (MSZ EN 12390-8:2001, illetve MSZ EN 12390-8:2009) szabvány szerinti értelmezése

A 2010-ben visszavont osztrák ÖNORM B 3303:2002 szabvány (a helyére lépett ONR 23303:2010 szabványt még nem ismerjük) 7.8 szakasza szerint víznyomásnak a próbatest közepén kijelölt és lehetőleg a próbatest 24 órás korában, például drótkefével felérdesített 100 mm átmérőjű felületet kellett kitenni. A vízzáróság vizsgálatot a végig víz alatt tárolt próbatest 28 napos korában kezdték el. A vizsgálóberendezésben a próbatest felérdesített Ø100-es körfelületét tömítőgyűrűvel vették körül. A víznyomás 3 napon át 1,75 bar (~0,175 N/mm^2), a 4. naptól a 14. napig 7,0 bar (~0,7 N/mm^2) volt. A vizsgálat végeztével a próbatestet – a két szemben elhelyezett, mintegy 10 mm széles, kemény hasítóléc megnyomásával, – a vizsgált felületre merőlegesen elhasították. Miután az elhasított felület kissé megszikkadt, a vízbehatolás körvonalát rárajzolták, és átlagos vízbehatolási mélységet megállapították. A vizsgálatot három próbatesten végezték el, és a három mérési eredmény átlagát tekintették a vizsgálat eredményének.

Az ÖNORM B 3303:2002 szabvány szerint végzett vízzáróság vizsgálat eredménye alapján az ÖNORM B 4710-1:2007 betonszabvány NAD 1 táblázatában úgy intézkednek, hogy ha a vízbehatolás átlagos mélysége legfeljebb 50 mm, akkor a betont legfeljebb 10 m magas vízoszlop nyomásának szabad kitenni, és a beton kielégíti az XC3 környezeti osztály követelményét, míg ha a vízbehatolás átlagos mélysége csak legfeljebb 25 mm, akkor a betont 10 m-nél magasabb vízoszlop nyomásának is ki szabad tenni, és a beton az XC4 környezeti osztály követelményének is megfelel. A 10 m magas vízoszlop nyomása 1,0 bar nyomásnak, illetve mintegy 0,1 N/mm^2 nyomásnak felel meg. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 1 táblázata szerint az XC3 környezeti osztályba például a vízépítési műtárgyak és a mérsékelt víznyomásnak kitett tömör betonépítmények (dichte Betonbauwerke) sorolhatók, az XC4 környezeti osztályba pedig ugyancsak vízépítési műtárgyak és a nagy víznyomásnak kitett tömör betonépítmények tartoznak. Ausztriában az XC3 és XC4 környezeti osztály EN 206-1:2000 szabvány szerinti nedvesség-tartalmi meghatározása nem érvényes.

Megjegyzés: Az EN 206-1:2000 (MSZ EN 206-1:2002) szabványban nincs vízzárósági környezeti osztály, ezért hoztuk létre Magyarországon az MSZ 4798-1:2004 szabványban az XV1(H), XV2(H), XV3(H) környezeti osztályokat (lásd könyvünk *17. táblázatát*).

A napjainkban is érvényes német DIN 1048-5:1991 szabvány szerint a vízzáróságot 32 mm legnagyobb szemnagyságig általában 3 darab, 200·200·120 mm méretű próbatesten vagy 200 mm méretű próbakockán vagy Ø150·120 mm méretű próbakorongon vizsgálják. A vizsgálatot akkor szabad 150·150·120 mm méretű próbatesten vagy 150 mm méretű próbakockán végezni, ha a próbatest legkisebb mérete a legnagyobb szemnagyságnak legalább négyszerese. Ha a legnagyobb szemnagyság 32 mm-nél nagyobb, akkor a próbatest alapéle, illetve átmérője 300 mm, magassága legalább 120 mm, illetve a legnagyobb szemnagyságnak legalább négyszerese. A víznyomás a 150 mm vagy 200 mm alapélű, illetve átmérőjű próbatestet 100 mm átmérőjű körfelületen, a 300 mm alapélű, illetve átmérőjű próbatestet 150 mm átmérőjű körfelületen terheli. A próbatestet kizsaluzás után – miután vizsgálati körfelületét drótkefével felérdesítették – azonnal (20±2) °C hőmérsékletű víz alá helyezik, majd legalább 28 napos, de 35 napnál nem idősebb korában, *nedves állapotban,* 3 napon át 0,5 N/mm^2 (5 bar) víznyomással terhelik. Közvetlenül a vizsgálat után a próbatestet elhasítják, és 5-10 perc száradási idő után meghatározzák a nedvesített felület alakját, továbbá a legnagyobb vízbehatolás mélységét mm pontosan. Vizsgálati eredmény a három próbatesten mért legnagyobb vízbehatolás mélységének átlaga.

Németországban a beton folyadékzáróságát a „DAfStb Wassergefährdende Stoffe” irányelv „A.2” melléklete szerint, a szálerősítésű betonét az „A.3” melléklete szerint, a megrepesztett betonét az „A.5” melléklete szerint kell vizsgálni. A vizsgálathoz 320 kg/(beton m^3) CEM I 32,5 R vagy CEM III/A 32,5 cementtartalmú, 0,5 víz-cement tényezőjű referencia beton próbatestet is készítenek. A betonból 3 db 150 mm méretű próbakockát kell készíteni, műanyag-fóliába csomagolva 20 °C hőmérsékleten kell tárolni, majd a próbakockákból 7 napos korban 80 mm vagy 100 mm átmérőjű, 120 mm magas hengert kell kifúrni. A hengert 56 napon át 20 °C hőmérsékletű, 65 % relatív páratartalmú klímatérben kell tárolni. A repedés nélküli próbahengert szoros illesztéssel fémhengerbe ragasztják, felső körlapjára 500 mm hosszú, skálával ellátott vizsgálócsövet ragasztanak, amelyet 400 mm magasan vizsgálati folyadékkal feltöltenek. A folyadék feltöltése után 72 órával a próbahengert a fémhengerből kiszabadítják, elhasítják, és a folyadékbehatolás mélységét meghatározzák. A mesterségesen megrepesztett próbatest folyadékbehatolásának mélységét általában 0,10 mm-re és 0,25 mm-re beállított repedéstágasság mellett mérik.

A repedések injektálására szolgáló anyag alkalmasságának vizsgálati módszerét az MSZ EN 14068:2004 szabvány írja le. A vizsgálathoz MSZ EN 1766:2000 szerinti referenciabetonból (150 ± 2) mm átmérőjű, (100 ± 2) mm magas próbahengert kell készíteni, hosszában ketté kell

hasítani, a két félhengert távolságtartóval (1 ± 0,2) mm széles hézagot képezve egymáshoz rögzíteni kell, a hézagot a palástmentén szigetelni kell, és a próbatestet forró elasztomerbitumennel körbeöntve a vizsgáló formába kell helyezni. A próbatestet (48 ± 4) órán át (21 ± 2) °C hőmérsékleten és (60 ± 10) % relatív páratartalom mellett klimatizálni kell, de a repedés lehet nedves, vagy vizes, vagy vízzel teli. A hézagot ki kell injektálni, a próbatestet 7 napon át (21 ± 2) °C hőmérsékleten és (60 ± 10) % relatív páratartalom mellett kell tárolni. A víznyomást alulról felfelé 7-7 napig kell a próbatestre a legnagyobb nyomás 25, 50, 75 és 100 %-os fokozatán működtetni. Ha a 25 és 50 %-os fokozaton szivárgás jelentkezik, akkor az injektáló anyag a vizsgálatot nem állta ki.

Összegezve: A vízzáróság vizsgálat régi (MSZ 4715-3:1972) és új (MSZ EN 12390-8:2009) módszere közötti legfőbb különbség, hogy szemben a régi eljárással, ma a vízzáróságot általában kizsaluzás után végig víz alatt tárolt próbatesten (Magyarországon – ha ebben előzetesen írásban megállapodás születik – szabad a vízzárósági próbatestet vegyesen, azaz 7 napos korig víz alatt, utána laborlevegőn tárolni), 75 mm átmérőjű körfelületen, (72 ± 2) órán át ható 5 bar (0,5 ± 0,05 MPa) állandó víznyomáson kell vizsgálni. A beton vízzárósága a tárolási módtól függetlenül akkor megfelelő, ha a vizsgálat eredményeként minden egyes próbatesten a vízbehatolás mélysége XV1(H) környezeti osztály esetén legfeljebb 60 mm; (jele: vz 60), XV2(H) környezeti osztály esetén legfeljebb 40 mm; (jele: vz 40), XV3(H) környezeti osztály esetén legfeljebb 20 mm; (jele: vz 20).

16. KOPÁSÁLLÓSÁG VIZSGÁLAT

16.1. BETON KOPÁSÁLLÓSÁGÁNAK FELTÉTELEI

A kopásálló betonok megfelelőségi feltételeivel az MSZ EN 2006-1:2002 szabvány nem foglalkozik, az MSZ 4798-1:2004 szabvány hazai gyakorlatban követendő alkalmazási követelményeit pedig módosítani célszerű a *17. táblázat* környezeti osztályai szerint.

A koptató hatásnak kitett betonoknak alkalmazási céljuktól függően ki kell elégíteniük a *17. táblázatban* szereplő környezeti osztályok szerinti követelményeket. A kopásálló beton sokszor fagy és olvasztósó hatásának is ki van téve, ezeket a *17. táblázatban* szereplő társított környezeti osztályok szerint légbuborékképző adalékszerrel kell készíteni.

Magyarországon az MSZ 4798-1:2004 szabvány előírásának megfelelően a betonok kopásállóságát az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti *Böhme*-féle koptatótárcsás módszerrel vizsgáljuk. Megjegyezzük, hogy az MSZ 18290-1:1981 szabvány 7.1.2. szakaszában a ΔV térfogatveszteség képletének mértékegysége hibás, az nem cm^3, hanem helyesen mm^3.

A kopásálló beton akkor sorolható be valamely környezeti osztályba (*17. táblázat*), ha az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti kopási vesztesége kielégíti a *43. táblázatban* szereplő k14/21, k12/18, k10/15, k8/12 vagy k6/9 jelű kopásállósági osztályhoz tartozó határértékek valamelyikét.

43. táblázat: Követelmény a beton kopásállóságára

Környezeti osztály	Kopásállósági osztály jele	Kopásállósági osztály megnevezése	A ΔV kopási térfogatveszteség megengedett mértéke mm^3-ben	
			Száraz	Vizes
			koptatás esetén	
XK1(H)	k14/21	Mérsékelten kopásálló	14000	21000
XK2(H)	k12/18	Kopásálló	12000	18000
XK3(H)	k10/15	Fokozottan kopásálló	10000	15000
XK4(H)	k8/12	Igen kopásálló	8000	12000
XK5(H)	k6/9	Különlegesen kopásálló	6000	9000

A *43. táblázatban* szereplő követelmények kapcsán meg kell jegyeznünk, hogy a visszavont MSZ 4719:1982 betonszabvány 7. táblázatában a *Böhme*-féle kopás határértékeire nagyságrendileg hasonló mérőszámok szerepeltek, de a táblázat fejléce hibás volt, mert a mérőszámokat magasságcsökkenésként jelölte meg, holott azok is térfogatveszteséget jelentettek. Ezért az MSZ 4719:1982 szabvány 7. táblázatát érvénytelenítették, de a szabvány az MSZ EN 2006-1:2002 európai szabvány megjelenéséig érvényben maradt.

Az európai termékszabványokban a beton és kőanyag termékek kopásállóságának meghatározására kétféle kopásállóság vizsgálati módszert is alkalmaznak, az egyik az ún. „széles koptatókorongos kopási vizsgálat”, a másik a *Böhme*-féle vizsgálat. A kopásállósági vizsgálatok leírása a termékszabványok mellékletében található. Így például az MSZ EN 1338:2003 szabvány a beton útburkolóelemek, az MSZ EN 1339:2003 szabvány a beton járdalapok, az MSZ EN 1340:2003 szabvány a beton útszegélyelemek kopásállóságára ad a kétféle vizsgálati módszerhez tartozó, nem túl szigorú követelményt.

Az MSZ EN 1341:2002 szabványban a természetes útburkoló kőlapok, az MSZ EN 1342:2002 szabványban a természetes útburkoló kövek kopásállóságának meghatározására csak a „széles koptatókorongos kopási vizsgálat”-ot írják elő, a vizsgálati módszert ismertetik, de követelmény értéket nem adnak meg.

Az MSZ EN 13892-3:2004 szabvány szerinti *Böhme*-féle vizsgálatot például az MSZ EN 13813:2003 szabvány szerinti cement- és különleges esztrichhabarcsok és a DIN 18560-7:2004 szabvány szerinti nagy igénybevételű ipari cementesztrichek kopásállóságának meghatározására használják. Az európai esztrich termékszabványok a *Böhme*-féle kopásállóságra követelmény értékeket is tartalmaznak.

A beton kopásállósága a cement C_3S/C_2S (trikalciumszilikát/dikalciumszilikát) hányadosának növekedésével javul, a granulált kohósalak, pernye, trasz és mészkőliszt-tartalommal romlik, ezért a kopásálló beton készítéséhez 52,5 vagy 42,5 szilárdsági osztályú, elsősorban CEM I, esetleg CEM II/A fajtájú, portlandcementet kell használni, azzal a megjegyzéssel, hogy a CEM II/A-D cement legfeljebb 10 tömeg% szilikapor-tartalmánál fogva javítja a kopásállóságot.

A kopásálló beton adalékanyaga 4 mm szemnagyság alatt teljes egészében vagy részben (legalább 50 tömeg%) osztályozott homokból álljon, 4 mm felett pedig:

– az **XK1(H)** környezeti osztályban I. osztályú szemmegoszlású, P minőségi osztályú (legfeljebb 3 térfogat% agyag-iszaptartalom) homokos kavics (MSZ 18293:1979), vagy KZ termékosztályú, legalább Kf-B kőzetfizikai csoportú bazalt, vagy andezit, vagy tömött karbonátos zúzottkő legyen;
– az **XK2(H)** környezeti osztályban KZ termékosztályú, legalább Kf-A kőzetfizikai csoportú andezit, vagy tömött karbonátos zúzottkő, vagy legalább Kf-B kőzetfizikai csoportú bazalt zúzottkő legyen;
– az **XK3(H)** környezeti osztályban KZ termékosztályú, legalább Kf-A kőzetfizikai csoportú bazalt, vagy andezit legyen;
– az **XK4(H**) és **XK5(H)** környezeti osztályban KZ termékosztályú, Kf-0 kőzetfizikai csoportú bazalt zúzottkő, vagy még annál is keményebb (például elektrokorund, szilíciumkarbid stb. tartalmú) különleges adalékanyag legyen.

A kopásálló kavicsbetont célszerű, a kopásálló zúzottkőbetont szükséges folyósító adalékszer alkalmazásával készíteni.

A kopásálló betonokat – ha nem alkalmazunk folyósító adalékszert – csak gyengén túltelített keverékekből lehet előállítani, mert a szilárdság eléréséhez szükséges kis víz-cement tényező miatt – a kellő bedolgozhatóság érdekében – viszonylag nagy cementadagolás szükséges. Törekedni kell azonban a minél kisebb mértékű túltelítésre, és ezért célszerű kis vízigényű adalékanyagot és vízcsökkentő hatású folyósító adalékszert alkalmazni. A cementpépben dús, jelentős mértékben túltelített beton a felület porladását okozza, mert a cementkőváz kopásállósága az adalékanyagénál kisebb.

A kopásálló beton földnedves konzisztenciájú legyen.

A kopásálló betont különös gondossággal kell tömöríteni. A bedolgozást követően a nedves utókezelést azonnal meg kell kezdeni, amint a beton elérte a kellő kötést (megdermedt), és megszakítás nélkül folytatni kell legalább 14 napon át. A szilárduló betont az utókezelés tartama alatt védeni kell a közvetlen napsugárzástól és az erős széltől.

Az ipari csarnokok tükör simaságú pormentes, igen kopásálló beton padlóburkolatát kemény kopásálló anyag rotációs felületi bedörzsölésével szokták készíteni. A kopásálló anyag adalékanyagát általában természetes korund (ilyen például a görögországi Naxos szigeten fordul elő), elektrokorund, szilíciumkarbid vagy hasonló kemény szemek alkotják.

Az előregyártott kopásálló térburkolókövek, térkövek (például AB, KK, Frühwald, Viacolor) vibrosajtolással készülnek, szilárdságukat hasítással vagy pecsétnyomással, ritkán kimunkált próbatesten határozzák meg.

16.2. *BÖHME*-FÉLE KOPÁSÁLLÓSÁG VIZSGÁLAT

A nevét viselő koptatótárcsás vizsgálatot *E. P. Böhme* 1892-ben tette közzé, és Németországban az 1920-as évek végén szabványosították. Hazánkban a kopásállóság vizsgálatára a *Böhme*-féle eljárást a József Nádor Műegyetemen már 1930-ban alkalmazták, kőanyagok vizsgálatára 1951-ben, betontermék vizsgálatára 1953-ban szabványosították (*Kausay* 1983), tehát bőséges kísérleti eredmény áll rendelkezésre.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a beton kopásállóságát legalább 28 napos korában, a vizsgálati eljárástól függően légszáraz vagy vízzel telített állapotú, (71 ± 1,5) mm méretű próbakockán, az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti *Böhme*-féle eljárással kell vizsgálni. Megjegyzendő, hogy az MSZ 18290-1:1981 szabvány 7.1.2. szakaszában a ΔV térfogatveszteség képletének mértékegysége – az ott feltüntetettől eltérően – nem cm^3, hanem helyesen mm^3.

A *Böhme*-féle kopásállóság vizsgálat elve szerint a 294,3 N erővel [(6 kg teher)·(5-szörös áttétel) = 30 kp] terhelt próbatestet percenként 30 fordulatot végző öntöttvas korongon, 487 m hosszú úton, legalább 95 tömeg% alumíniumoxid-tartalmú, (~0,12-0,15 mm szemnagyságú) korund porral kell koptatni szárazon és szabályozott módon vizesen. A tárcsa körülfordulásainak száma (16 periódus)·(22 fordulat) = 352 körülfordulás. A koptatópor mennyisége (20 ± 0,19 g/periódus.

A kopás mértékét a ΔV térfogatveszteséggel, mm^3-ben kell kifejezni, a következők szerint:

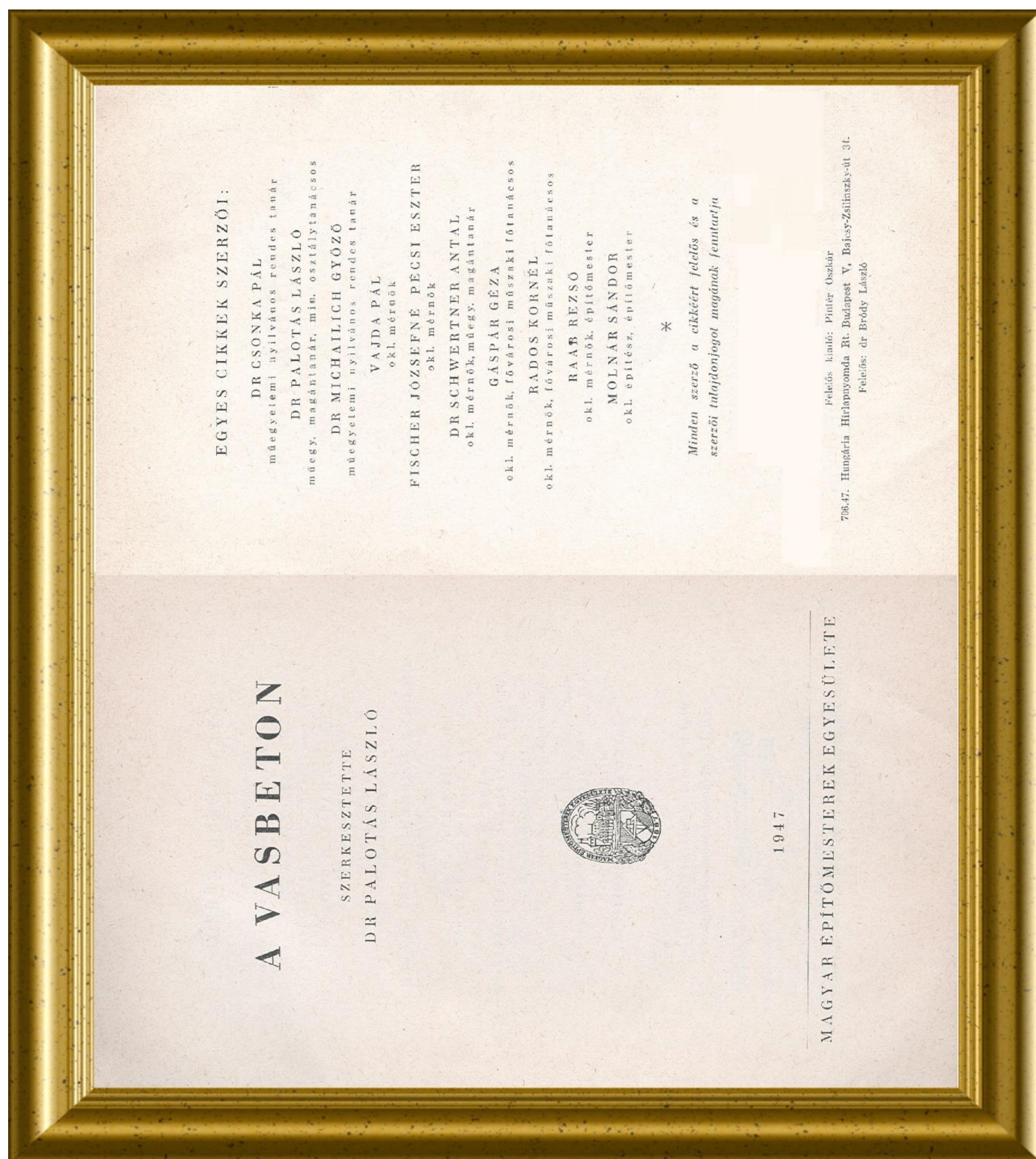
$$\Delta V = \left(1 - \frac{G'}{G}\right) \cdot V$$

ahol:

- ΔV a próbatest térfogatvesztesége, mm^3-ben
- G a próbatest tömege koptatás előtt, g-ban
- G' a próbatest tömege koptatás után, g-ban
- V a próbatest térfogata koptatás előtt, mm^3-ben

A fenti számítási módszer szerint meghatározott térfogatveszteség csak homogén próbatestek esetén tekinthető helyes eredménynek, például kopóréteggel ellátott próbatestek esetén a kapott eredmény hibás.

A *Böhme*-féle koptatást szárazon (légszáraz próbakockákon) és vizesen (vízzel telített próbakockákon és a koptatótárcsára víz csöpögtetése közben) is el kell végezni, és ezek eredményei közül a kedvezőtlenebb a mértékadó vizsgálati eredmény (*43. táblázat*). Például, ha egy beton kopási vesztesége szárazon 7600 mm^3, vizesen 14400 mm^3, akkor környezeti osztálya: XK3(H).



A VASBETON

SZERKESZTETTE
DR PALOTÁS LÁSZLÓ

1947

MAGYAR ÉPÍTŐMESTEREK EGYESÜLETE

EGYES CIKKEK SZERZŐI:

DR CSONKA PÁL
műegyetemi nyilvános rendes tanár

DR PALOTÁS LÁSZLÓ
műegy. magántanár, min. osztálytanácsos

DR MICHAILICH GYŐZŐ
műegyetemi nyilvános rendes tanár

VAJDA PÁL
okl. mérnök

FISCHER JÓZSEFNÉ PÉCSI ESZTER
okl. mérnök

DR SCHWERTNER ANTAL
okl. mérnök, műegy. magántanár

GÁSPÁR GÉZA
okl. mérnök, fővárosi műszaki főtanácsos

RADOS KORNÉL
okl. mérnök, fővárosi műszaki főtanácsos

RAAB REZSŐ
okl. mérnök, építőmester

MOLNÁR SÁNDOR
okl. építész, építőmester

*

Minden szerző a cikkéért felelős és a szerzői tulajdonjogot magának fenntartja

Felelős kiadó: Pintér Oszkár
736.47. Hungária Hirlapnyomda Rt. Budapest V, Bajcsy-Zsilinszky-út 31.
Felelős: dr Bródy László

17. CEMENTEK

17.1. CEMENTFAJTÁK

Az MSZ EN 197-1:2011 és az MSZ 4737-1:2002 cementszabvány a cementeket összetétel, nyomószilárdság és a kezdeti szilárdulási sebesség szerint különbözteti meg. A cementek összetétel szerinti jelét és az alkotórészek mennyiségét a *44. táblázatban*, szilárdsági osztályukat – amelyben a kezdő- és szabványos szilárdságot, a kötési idő kezdetét és a térfogat-állandóságot írják elő – a *45. táblázatban*, a kémiai követelményeket a *46. táblázatban* tüntettük fel.

44. táblázat: Általános felhasználású cementek fajtái összetételük alapján az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerint

Cementek megnevezése	Cementek jele	Fő alkotórész megnevezése	Fő alkotórész-tartalom[4)] [5)] tömeg%
Portlandcement	CEM I	Portlandcementklinker	95-100
Kohósalak-portlandcement	CEM II/A-S	Kohósalak (S)	6-20
	CEM II/B-S		21-35
Szilikapor-portlandcement	CEM II/A-D	Szilikapor (D)	6-10
Puccolán-portlandcement	CEM II/A-P	Természetes puccolán (P)	6-20
	CEM II/B-P		21-35
	CEM II/A-Q	Kalcinált puccolán (Q)	6-20
	CEM II/B-Q		21-35
Pernye-portlandcement	CEM II/A-V	Savanyú pernye (V) kovasavban gazdag	6-20
	CEM II/B-V		21-35
	CEM II/A-W	Bázikus pernye (W) mészben gazdag	6-20
	CEM II/B-W		21-35
Égetettpala-portlandcement	CEM II/A-T	Égetettpala (T)	6-20
	CEM II/B-T		21-35
Mészkő-portlandcement	CEM II/A-L	Mészkő, TOC[2)] ≤ 0,5 tömeg% (L)	6-20
	CEM II/B-L		21-35
	CEM II/A-LL	Mészkő, TOC[2)] ≤ 0,2 tömeg% (LL)	6-20
	CEM II/B-LL		21-35
Kompozit-portlandcement[3)]	CEM II/A-M	S, D[1)], P, Q, V, W, T, L, LL	6-20
	CEM II/B-M		21-35
Kohósalakcement	CEM III/A	Kohósalak (S)	36-65
	CEM III/B		66-80
	CEM III/C		81-95
Puccoláncement[3)]	CEM IV/A	D[1)], P, Q, V, W	11-35
	CEM IV/B		36-55
Kompozitcement[3)]	CEM V/A	S, P, Q, V	18-30
	CEM V/B		31-50

Megjegyzés:
1) Megengedett szilikapor-tartalom legfeljebb 10 tömeg%
2) Összes kötött széntartalom
3) A kompozit-portlandcement, puccoláncement és kompozitcement jelében a fő alkotórészek jelét is fel kell tüntetni.
4) A fő alkotórészek – beleértve a klinkert is – mennyisége a cementben több, mint 95 tömeg%.
5) A cementek mellék alkotórészeinek mennyisége legfeljebb 5 tömeg%.

45. táblázat: Általános felhasználású cementek mechanikai és fizikai követelményei (jellemző értékek) az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerint

Szilárdsági osztály	Nyomószilárdság, N/mm²				Kötési idő kezdete perc
	Kezdőszilárdság		Szabványos nyomószilárdság		
	2 napos	7 napos	28 napos		
32,5 L	–	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 N	–	≥ 16,0			
32,5 R	≥ 10,0	–			
42,5 L	–	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 N	≥ 10,0	–			
42,5 R	≥ 20,0	–			
52,5 L	≥ 10,0	–	≥ 52,5	–	≥ 45
52,5 N	≥ 20,0	–			
52,5 R	≥ 30,0	–			

Megjegyzés:
N = normál kezdőszilárdságú cement; R = nagy kezdőszilárdságú (rapid) cement;
L = kis (low) kezdőszilárdságú cement. Az L jelölés csak a CEM III kohósalakcementre vonatkozik
A cementek térfogat-állandósága (tágulása) ≤ 10 mm

A cementek tulajdonságait és megfelelőségét a gyártó az MSZ EN 197-1:2011 szabvány 6. táblázata szerinti gyakorisággal vizsgálja, illetve ellenőrzi, folyamatos gyártás esetén például a szilárdságot, kötési időt és szulfát-tartalmat hetente kétszer, a térfogat-állandóságot és az összetételt hetente egyszer. Ha a megfelelőséget matematikai statisztikai alapon vizsgálják, akkor a szilárdság alsó (megkövetelt) határértékének alulmaradási hányada 5 %, a szilárdság, a fizikai és a kémiai tulajdonságok felső (megengedett) határértékének alulmaradási hányada 90 %. Az alulmaradási tényezőket az alulmaradási hányad és a mintaelemszám függvényében ($n \leq 20$) az MSZ EN 197-1:2011 szabvány 8. táblázata tartalmazza.

A cement a matematikai statisztikai megfelelőségi feltételeken kívül az egyedi vizsgálati eredményekre vonatkozó követelményeket is ki kell elégítse az MSZ EN 197-1:2011 szabvány 9.2.3. szakasza, illetve 10. táblázata szerint. Ennek értelmében például a 28 napos nyomószilárdság alsó határértéke 32,5 szilárdsági jelű cement esetén 30 N/mm², 42,5 szilárdsági jelű cement esetén 40 N/mm² és 52,5 szilárdsági jelű cement esetén 50 N/mm².

A szulfátálló cementfajtákkal az MSZ 4737-1:2002 szabvány is foglalkozik.

Az MSZ 4737-1:2002 szabvány szerint szulfátállók azok az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti CEM I és CEM II fajtájú portlandcementek, amelyek portlandcement-klinkerének aluminát-modulusa legfeljebb 0,7, valamint a CEM III/B és CEM III/C kohósalakcementek. Szulfátduzzadás okozta hosszváltozásuk legfeljebb 0,4 mm/m. Jelük az MSZ 4737-1:2002 szabvány szerint S, az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerint SR.

Az MSZ 4737-1:2002 szabvány szerint mérsékelten szulfátállók azok az MSZ EN 197-1:2011 szerinti CEM I és CEM II fajtájú portlandcementek, amelyek portlandcement-klinkerének aluminát-modulusa legfeljebb 1,0, valamint a CEM III kohósalakcementek. Szulfátduzzadás okozta hosszváltozásuk nagyobb, mint 0,4 mm/m, de legfeljebb 1,0 mm/m. Jelük az MSZ 4737-1:2002 szabvány szerint MS.

Ha a vizsgálati eredményeket nem matematikai statisztikai alapon, hanem az egyedi vizsgálati eredmények alapján értékelik, akkor az aluminát-modulus szulfátálló cement esetén legfeljebb

0,75, mérsékelten szulfátálló cement esetén legfeljebb 1,05; a szulfátduzzadás okozta hosszváltozás szulfátálló cement esetén legfeljebb 0,45 mm/m, mérsékelten szulfátálló cement esetén 1,05 mm/m lehet.

A szulfátálló és a mérsékelten szulfátálló cementek szulfátduzzadás okozta hosszváltozását 10·40·160 mm méretű, gőzérlelésű, majd szulfátoldatban tárolt próbahasábokon az MSZ 4737-1:2002 szabvány melléklete szerint kell megmérni 7, 14, 21 és 28 napos korban.

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány – meghaladva elődjét, az MSZ EN 197-1:2000 szabványt – a következő szulfátálló cementeket különbözteti meg:

CEM I-SR 0	Szulfátálló portlandcement, amelyben a klinker C_3A-tartalma = 0 tömeg%
CEM I-SR 3	Szulfátálló portlandcement, amelyben a klinker C_3A-tartalma $\leq$ 3 tömeg%
CEM I-SR 5	Szulfátálló portlandcement, amelyben a klinker C_3A-tartalma $\leq$ 5 tömeg%
CEM III/B-SR	Szulfátálló kohósalakcement, amelyben a klinker C_3A-tartalmára nincs követelmény. Ezt a cementet az MSZ EN 197-1:2011 szabvány kis kezdőszilárdságú cementnek tekinti.
CEM III/C-SR	Szulfátálló kohósalakcement, amelyben a klinker C_3A-tartalmára nincs követelmény. Ezt a cementet az MSZ EN 197-1:2011 szabvány kis kezdőszilárdságú cementnek tekinti.
CEM IV/A-SR	Szulfátálló puccoláncement, amelyben a klinker C_3A-tartalma $\leq$ 9 tömeg%
CEM IV/B-SR	Szulfátálló puccoláncement, amelyben a klinker C_3A-tartalma $\leq$ 9 tömeg%

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány A1. táblázata szerint szulfátálló a magyar, MSZ 4737-1:2002 szabvány szerinti CEM II/A-V jelű pernyeportlandcement is, amely az MSZ EN 197-1:2011 szabványban nem szerepel. Ezt a pernyeportlandcementet SR jellel ellátni nem szabad.

A fehér cementek követelményét az MSZ 4737-2:2002 szabvány tartalmazza. A fehér cement fajtája MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti CEM I, CEM II, CEM IV, CEM V lehet. Fehérségi fokozata a CIE 1931 rendszer Y színösszetevője szerint F I ($Y \geq 80$ %), F II ($75\ \% \leq Y < 80$ %) vagy F III ($65\ \% \leq Y < 75$ %). Az egyedi vizsgálati eredmények követelményei rendre 78 %, 73 %, 65 %. A fehérségi fokozatot az MSZ 4737-2:2002 szabvány melléklete szerint kell pormintán meghatározni, és fel kell tüntetni a cement megnevezésében. A fehércement a színét azáltal nyeri, hogy a klinkerben az Fe_2O_3 alakban kifejezett vastartalom mennyisége legfeljebb 0,6 tömeg%, és egyéb színező fémoxidot csak nyomokban tartalmaz (MSZ 4702-2:1997). Megjegyzés: A CIE 1931 Standard Colorimetric Observer (szabványos színmérő észlelő) a CIE (Commission Internationale de l'Éclairage, Nemzetközi Világítási Bizottság) 1931-ben szabványosított színinger-mérő rendszere. A CIE 1931 rendszer leírása a DIN 5033-2:1992 szabványban is olvasható.

A kis kezdőszilárdságú, kis hőfejlesztésű CEM III fajtájú kohósalakcementekkel korábban az MSZ EN 197-4:2004 szabvány foglalkozott, ezt a szabványt azonban beépítették az MSZ EN 197-1:2011 szabványba. Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány az általános felhasználású CEM III fajtájú kohósalakcementeket kis kezdőszilárdságú cementnek tekinti. A kis kezdőszilárdságú kohósalakcementeket a szilárdsági jel után *L* betűvel, a kis hőfejlesztésű (kis hidratációs hőjű) kohósalakcementeket *LH* betűvel kell jelölni. Például a 81-95 tömeg% közötti granulált kohósalakot tartalmazó, 32,5 szilárdsági osztályú, kis kezdőszilárdságú, kis hőfejlesztésű szulfátálló kohósalakcement jele: CEM III/C 32,5 L – LH/SR.

46. táblázat: Általános felhasználású és szulfátálló (SR) cementek kémiai követelményei (jellemző értékek) az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerint

Tulajdonság	Vizsgálati módszer	Cementfajta	Szilárdsági osztály	Követelmény
Izzítási veszteség	MSZ EN 196-2	CEM I CEM III	Valamennyi	≤ 5,0 tömeg%
Oldhatatlan maradék	MSZ EN 196-2 [b]	CEM I CEM III	Valamennyi	≤ 5,0 tömeg%
Szulfáttartalom (SO_3-ként)	MSZ EN 196-2	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 [h] CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,0 tömeg%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 3,5 tömeg%
		CEM I CEM II [c] CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 tömeg%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 tömeg%
		CEM III [d]	Valamennyi	
Kloridtartalom [g]	MSZ EN 196-2	Valamennyi [e]	Valamennyi	≤ 0,10 tömeg% [f]
Puccolánosság	MSZ EN 196-5	CEM IV	Valamennyi	Feleljen meg a vizsgálati módszernek
C_3A a klinkerben	MSZ EN 196-2 A cement kémiai elemzéséből számított érték	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	Valamennyi	0 tömeg% 3 tömeg% 5 tömeg%
	A klinker kémiai elemzéséből számított érték	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	Valamennyi	9 tömeg%

[a] A követelmények a kész cement tömegszázalékában értendők.
[b] Az oldhatatlan maradék meghatározása sósavban és nátrium-karbonátban történjék.
[c] A CEM II/B-T cementfajta szulfáttartalma valamennyi szilárdsági osztályban legfeljebb 4,5 tömeg% legyen.
[d] A CEM III/C cementfajta szulfáttartalma legfeljebb 4,5 tömeg% legyen.
[e] A CEM III/C cementfajta esetében megengedett a 0,1 tömeg-%-nál nagyobb kloridtartalom, ebben az esetben a tényleges kloridtartalmat kell feltüntetni a cement szállítási jegyén, illetve ha van, a csomagolásán is.
[f] Előfeszített vasbeton készítéséhez a cement szigorúbb kloridtartalmi követelmény szerint is gyártható. Ebben az esetben a 0,1 tömeg% helyett a kisebb követelmény értéket kell feltüntetni a cement szállítási jegyén, illetve ha van, a csomagolásán is.
[g] A kloridtartalom vizsgálatára vonatkozó korábbi MSZ EN 196-21 szabványt átdolgozták, és beépítették az MSZ EN 196-2:2005 szabványba.
[h] Különleges alkalmazások esetén nagyobb szulfáttartalommal is előállítható, amelyet a szállítási dokumentumon fel kell tüntetni.
Jelölés: N = normál kezdőszilárdságú cement; R = nagy kezdőszilárdságú (rapid) cement.

A 32,5 L szilárdsági osztályú kohósalakcement 7 napos kezdőszilárdsága legalább 12,0 N/mm^2, a 42,5 L szilárdsági osztályú kohósalakcement 7 napos kezdőszilárdsága legalább 16,0 N/mm^2, az 52,5 L szilárdsági osztályú kohósalakcement 2 napos kezdőszilárdsága legalább 10,0 N/mm^2. E jellemző értékek mellett teljesülnie kell az egyedi vizsgálati eredményekre vonatkozó, a fenti sorrendben: 10,0 N/mm^2, 14,0 N/mm^2, 8,0 N/mm^2 követelménynek is. A kis hőfejlesztésű kohósalakcementek hidratációs hője nem haladhatja meg az MSZ EN 196-8:2010 szabvány szerinti 7 napos korra, vagy az MSZ EN 196-9:2010 szabvány szerinti 41 órás korra a 270 J/g értéket, az egyedi vizsgálat eredménye tekintetében a 300 J/g értéket. A szabványban figyelmeztetnek, hogy a kis kezdőszilárdságú cementek hőfejlesztése kisebb a normális kezdeti reakcióképességű cementek hőfejlesztésénél és kisebb betonhőmérsékletet eredményeznek, ezért a beton gondos utókezelést igényel, növelni kell a kizsaluzási időt, védeni kell a kedvezőtlen időjárástól. Az A. mellékletben tájékoztatnak arról, hogy egyes CEN-tagállamokban korlátozzák a cement vízben oldható hat vegyértékű krómtartalmát, amelyet az MSZ EN 196-10:2007 szabvány szerint kell vizsgálni.

Az MSZ EN 14216:2004 szabvány szerinti, 22,5 nyomószilárdsági osztályú (egyedi szilárdság vizsgálati követelmény 28 napos korban legalább 20,0 N/mm^2), VLH III/B és VLH III/C fajtájú kohósalakcementek, VLH IV/A és VLH IV/B fajtájú puccolán-cementek, valamint VLH V/A és VLH V/B fajtájú kompozit-cementek hőfejlesztése nagyon kis mértékű, a kezdeti szilárdulás alatt 220 J/g. A nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementek alkalmasak tömegbetonok (például gátak) készítésére, de nem alkalmasak és azokat nem szabad vasbeton készítés céljára felhasználni.

Az MSZ EN 413-1:2011 szabvány szerinti kőművescementtel falazóhabarcsot és vakolóhabarcsot lehet készíteni, de beton készítéshez felhasználni nem szabad. A kőművescement hidraulikus kötőanyag, amelynek a szilárdsága főképp a legalább 25 tömeg% cementklinker-tartalomnak tulajdonítható. Jele MC (masonry cement).

A cementek szabványos tulajdonságait a következő szabványok szerint kell vizsgálni:

Mintavétel és előkészítés:	MSZ EN 196-7:2008
Őrlési finomság:	MSZ EN 196-6:2010
Szilárdság:	MSZ EN 196-1:2005
Kötési idő:	MSZ EN 196-3:2005
Térfogatállandóság:	MSZ EN 196-3:2005
Kémiai összetétel:	MSZ EN 196-2:2005
Izzítási veszteség:	MSZ EN 196-2:2005
Oldhatatlan maradék:	MSZ EN 196-2:2005
Szulfáttartalom:	MSZ EN 196-2:2005
Kloridtartalom:	MSZ EN 196-2:2005
Hidratációs hő	MSZ EN 196-8:2010 és MSZ EN 196-9:2010
Puccolánosság:	MSZ EN 196-5:2011
Vízoldható króm(VI)-tartalom:	MSZ EN 196-10:2007
Mészkőliszt összes, szerves alakban kötött széntartalma (TOC):	MSZ EN 13639:2003

17.2. CEMENTEK FELHASZNÁLHATÓSÁGA KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK SZERINT

Ennek a fejezetnek és a *47. táblázatnak* a forrása: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék „Cementek felhasználhatósági köre az MSZ 4798-1:2004 környezeti osztályainak megfelelően" című innovációs kutatás-fejlesztési tanulmány. Budapest, 2010. július 31. BME regisztrációs szám: 37783-003-ÉA/2009. Megbízó: HOLCIM Hungária Zrt., Budapest. A tanulmányt készítették: *Balázs L. György*, *Kausay Tibor*, *Erdélyi Attila*, *Zsigovics István*, *Salem G. Nehme*, *Arany Piroska*, *Kopecskó Katalin*, *Csányi Erika*.

A szabványok fejlődése általában a mérnöki felfogás fejlődését is jelenti. Az európai betonszabvány (EN 206-1:2000, amely Nemzeti Alkalmazási Dokumentumként egybeszerkesztve MSZ 4798-1:2004 formában jelent meg Magyarországon) középpontba állította a környezeti hatások figyelembevételének szükségességét a betonok alkalmazói számára.

Az európai betonszabvány ezzel felhívta a beton alkalmazóinak a figyelmét arra, hogy az erő és a kinematikai jellegű terheken túlmenően a környezeti hatások is okozhatnak olyan jelentős károsodásokat, amelyek megelőzésére például a megfelelő cement használatával lépéseket kell tenni.

A környezeti hatások figyelembevételének elősegítése érdekében az európai beton szabvány környezeti osztályokat határozott meg. Lévén, hogy a jelölésük X betűvel kezdődik, ezért „X osztályoknak" is nevezzük őket. A környezeti osztály jelében az X betű után általában azon angol szó kezdőbetűje áll, amelyik hatást figyelembe kívánjuk venni (például karbonátosodás, nem tengeri eredetű só, tengeri eredetű só, fagyás, olvadás, vegyi hatások stb.).

A beton tervezése és felhasználása során felmerül a kérdés, hogy a különböző környezeti osztályoknak ellenálló betonok készítéséhez melyik cement alkalmazható, és melyik nem. A kérdés körültekintő választ igényel, hiszen a cement választék bőséges, és a cementek tulajdonságai rövid és hosszú távon is eltérőek. A megfelelő cement kiválasztásakor azt sem szabad szem elől téveszteni, hogy a több kiegészítőanyagot tartalmazó heterogén és kompozitcementek – nagyobb kiegészítőanyag tartalmuknál, illetve kisebb a klinkertartalmuknál fogva – kisebb CO_2 kibocsátás mellett gyárthatók, ami környezetvédelmi szempontból elsőrendű fontosságú.

A cementek környezeti osztályok szerinti felhasználására ajánlásunkat saját tapasztalataink, valamint a magyar (MSZ 4798-1:2004), német (DIN 1045-2:2008), osztrák (ÖNORM B 4710-1:2007), francia (NF EN 206-1, NF P 18-325-1:2009), svéd (SS 137003:2002), amerikai (ASTM C 457:1998, ASTM C 1012:1995, ASTM 1202:1997) szabványok és irodalom alapján dolgoztuk ki, és táblázatosan foglaltuk össze (*47. táblázat*).

A *47. táblázatban* a környezeti osztályok jelölése az MSZ 4798-1:2004 szabvány jeleit követi, kivéve a szabvány kiadása után megfogalmazott XF2(H) és XF3(H) jelű környezeti osztályt, amelyben a fagyálló beton légbuborékképző adalékszer nélkül készíthető, és amely környezeti osztályokat a korábbi publikációkban XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) jellel jelöltük. Az XK(H) környezeti osztályok tagolása is megváltozott az MSZ 4798-1:2004 szabványhoz képest.

A *47. táblázatban* a következő jelöléseket alkalmaztuk:

☒	ajánlott
○	nem ajánlott
m0…m22	megjegyzések a környezeti osztályokra és a cementekre
Δ1…Δ6	feltételesen ajánlott, megjegyzések a feltételekhez kötött esetekre

47. táblázat: Ajánlás a cementek környezeti osztályok szerinti felhasználására

Oszlop száma			O1.	O2.	O3.	O4.	O5.	O6.	O7.	O8.
Sor száma	Cement fajta MSZ EN 197-1:2000 MSZ 4737-1:2002 CEM		Környezeti osztály, MSZ 4798-1:2004							
			XN(H) X0(H)	XC1 XC2 XC3	XC4	XD1 XD2 XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
			Megjegyzés a környezeti osztályra (minden cement esetében)					m9	m9	m9
S1.	I 32,5 R	Megjegyzés a cementre (minden környezeti osztályban)	⊠	⊠	⊠	⊠ m7	⊠	⊠	⊠	⊠
S2.	I 32,5 R-S {S-54}		⊠	⊠	⊠	⊠ m7	⊠	⊠	⊠	⊠
S3.	I 42,5 N		⊠	⊠	⊠	⊠ m7	⊠	⊠	⊠	⊠
S4.	I 42,5 N-S		⊠	⊠	⊠	⊠ m7	⊠	⊠	⊠	⊠
S5.	I 42,5 R		⊠	⊠	⊠	⊠ m7	⊠	⊠	⊠	⊠
S6.	I 52,5 N		⊠	⊠	⊠	⊠ m7	⊠	⊠	⊠	⊠
S7.	II/A-S 42,5 N		⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠ m8
S8.	II/B-S 32,5 R		⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
S9.	II/B-S 42,5 N		⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠ m8
S10.	II/A-P 42,5 N		⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	○ m0	⊠ m21	○ m0
S11.	II/A-V 32,5 R-S	m1	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠ m21	⊠ m21	⊠ m21
S12.	II/A-V 42,5 N	m1	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠ m21	⊠ m21	⊠ m21
S13.	II/B-V 32,5 N	m1	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	Δ1 m21	⊠ m21	Δ1 m21
S14.	II/B-V 32,5 R	m1	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	Δ1 m21	⊠ m21	Δ1 m21
S15.	II/A-M (V-L) 42,5 N	m1 m2	⊠	⊠	⊠	Δ5	⊠	⊠ m21	⊠ m21	⊠ m21
S16.	II/B-M (P-V) 32,5 R	m1	⊠	⊠	⊠	⊠	Δ1	○ m0	Δ1 m21	○ m0
S17.	II/B-M (V-L) 32,5 N	m1 m2	⊠	⊠ m5 m6	○ m0	○ m0 m20	Δ1	○ m0	Δ1 m21	○ m0
S18.	II/B-M (V-L) 32,5 R	m1 m2	⊠	⊠ m5 m6	○ m0	○ m0 m20	Δ1	○ m0	Δ1 m21	○ m0
S19.	III/A 32,5 N	m19	⊠	⊠ m5	⊠ m5	⊠	⊠	Δ1	⊠	Δ1 Δ2
S20.	III/A 32,5 N-MS	m19	⊠	⊠ m5	⊠ m5	⊠	⊠	Δ1	⊠	Δ1 Δ2
S21.	III/B 32,5 N-S		⊠	⊠ m5	⊠ m5	⊠ m5	Δ1	Δ1	Δ1	Δ1 Δ3
S22.	V/A (S-V) 32,5 N	m3	⊠			⊠ m18				

Oszlop száma			O9.	O10.	O11.	O12.	O13.	O14.	O15.	O16.
Sor száma	Cement fajta MSZ EN 197-1:2000 MSZ 4737-1:2002 CEM		Környezeti osztály, MSZ 4798-1:2004							
			XF2(H)	XF3(H)	XA1 XA2	XA3	XK1(H) XK2(H)	XK3(H) XK4(H) XK5(H)	XV1(H) XV2(H)	XV3(H)
			m9 m17	m9 m17	m16	m16	m0 m11 m12	m0 m11 m12	m10 m13	m10 m13
S1.	I 32,5 R	Megjegyzés a cementre (minden környezeti osztályban)	⊠	⊠	⊠ m4	○	○	○	⊠	⊠
S2.	I 32,5 R-S {S-54}		⊠	⊠	⊠	⊠	○	○	⊠	⊠
S3.	I 42,5 N		⊠	⊠	⊠ m4	○	⊠	⊠	⊠	⊠
S4.	I 42,5 N-S		⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
S5.	I 42,5 R		⊠	⊠	⊠ m4	○	⊠ m22	⊠ m22	⊠	⊠
S6.	I 52,5 N		⊠	⊠	⊠ m4	○	⊠ m22	⊠ m22	⊠	⊠
S7.	II/A-S 42,5 N		⊠	⊠	⊠ m4 m23	○	⊠ Δ4 m8	⊠ Δ4 m8	⊠	⊠
S8.	II/B-S 32,5 R		⊠	⊠	⊠ m4	○	Δ4	○ m0	⊠	⊠
S9.	II/B-S 42,5 N		⊠	⊠	⊠ m4	○	⊠ Δ4 m8	⊠ Δ4 m8	⊠	⊠
S10.	II/A-P 42,5 N		⊠	⊠	○	○	⊠ Δ4	⊠ Δ4	⊠	⊠
S11.	II/A-V 32,5 R-S	m1	⊠	⊠	⊠	⊠	Δ4	○ m0	⊠	⊠ m14
S12.	II/A-V 42,5 N	m1	⊠	⊠	⊠ m4 m23	○	⊠ Δ4	⊠ Δ4	⊠	⊠ m14
S13.	II/B-V 32,5 N	m1	Δ1	⊠	○	○	Δ4	○ m0	⊠	⊠ m14
S14.	II/B-V 32,5 R	m1	Δ1	⊠	○	○	Δ4	○ m0	⊠	⊠ m14
S15.	II/A-M (V-L) 42,5 N	m1 m2	⊠	⊠	⊠ m4	○	⊠ Δ4	⊠ Δ4	⊠	⊠ m14
S16.	II/B-M (P-V) 32,5 R	m1	○ m0	Δ1	○	○	○ m0	○ m0	⊠	⊠ m14
S17.	II/B-M (V-L) 32,5 N	m1 m2	○ m0	Δ1	○	○	Δ4	○ m0	⊠	⊠ m14
S18.	II/B-M (V-L) 32,5 R	m1 m2	○ m0	Δ1	○	○	○ m0	○ m0	⊠	⊠ m14
S19.	III/A 32,5 N	m19	⊠	⊠	⊠ m4	○	Δ4	○ m0	⊠	⊠ m14
S20.	III/A 32,5 N-MS	m19	⊠	⊠	⊠	○	Δ4	○ m0	⊠	⊠ m14
S21.	III/B 32,5 N-S		Δ1	Δ1	⊠ m15	⊠ m15	○	○	⊠	⊠ m14
S22.	V/A (S-V) 32,5 N	m3			Δ6	Δ6	○	○	⊠	⊠ m14

Megjegyzések a *47. táblázathoz*

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány érvényre léptével a *47. táblázatbeli* szulfátálló cementek jele „S"-ről „SR"-re változott.

m Megjegyzések a környezeti osztályokra és a cementekre

m0 Az adott esetre nem ajánlott cementek (jele a táblázatban: ○) is felhasználhatók, ha az adott környezeti osztályban való alkalmazásukra vonatkozó építésügyi alkalmassági engedélyük van.

m1 A cementhez használt *V* jelű, savanyú pernye izzítási vesztesége legfeljebb 5 tömeg% lehet; reakcióképes CaO-tartalma legfeljebb 10 tömeg% lehet, és SiO_2-tartalma legalább 30 tömeg% legyen.

A friss beton tényleges testsűrűsége és levegő-tartalma mindig összehasonlítandó a tervezett értékkel, de ennek elvégzésére *V* jelű pernyés cement esetén különösen ügyelni kell.

m2 A mészkőliszt a DIN 1045-2:2008 szabvány szerint LL jelű legyen, azaz összes szervesen kötött széntartalma (TOC) ≤ 0,2 tömeg%. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány csak L jelű mészkőlisztet ír elő, amelynek az összes szervesen kötött széntartalma (TOC) ≤ 0,5 tömeg%.

m3 Ilyen összetételű CEM V/A (S-V) kompozitcementet a DIN 1045-2:2008 német, az ÖNORM B 4710-1:2007 osztrák, az NF EN 206-1; NF P 18-325-1:2009 (NAD) francia, és az SS 137003:2002 svéd szabvány nem sorol föl.

m4 Az XA2 környezeti osztályban MSZ 4737-1:2002 szabvány szerinti MS jelű mérsékelten szulfátálló vagy S jelű szulfátálló cement használandó, illetve ha a betonra ható agresszív víz SO_4^{2-}-tartalma ≤ 1500 mg/liter, akkor az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S, V, LL) és CEM/III/A jelű cement és pernye megfelelő arányú keveréke is használható. Az XA2 környezeti osztályban az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti SR jelű szulfátálló cementek előnyösen alkalmazhatók.

m5 Az előírt legkisebbhez képest + 20 kg/m^3 kötőanyag adagolandó.

m6 XC3 környezeti osztályban nem ajánlott.

m7 A tiszta portlandcementek (CEM I) *kevésbé akadályozzák* a kloridvándorlást (migrációt), mint a heterogén CEM II (nem mészkőlisztes) portlandcementek és a CEM III kohósalakcementek: utóbbiak az XD esetekben jóval kedvezőbbek.

m8 Ausztriában ez az autópályák előírt, ÖNORM B 3327-1:2005 szabvány szerinti cementje, DZ = Deckenzement változatban.

m9 Meghosszabbított (vizes/nedves/párazárós) utókezelés szükséges bármelyik cement alkalmazása esetén az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 17 táblázata szerint vagy a beton 14 napos koráig (*48. táblázat*).

48. táblázat: Utókezelés megkövetelt ideje az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 17 táblázata szerint

Szilárdulás sebessége	Gyors	Közepes	Lassú	Nagyon lassú
A beton 2 és 28 napos átlagos nyomószilárdságának viszonya: $f_{cm,2}/f_{cm,28}$	≥ 0,5	0,3 ≤ < 0,5	0,15 ≤ < 0,3	< 0,15
Környezeti osztály	Utókezelés megkövetelt ideje			
X0	12 óra	12 óra	24 óra	2 nap
XC1, XC2, XC3, XF1, XA1, XM1	2 nap	3 nap	4 nap	7 nap
Összes többi környezeti osztály	3 nap	7 nap	10 nap	14 nap

m10 A beton repedés-mentessége érdekében meghosszabbított (vizes/nedves/párazárós) utókezelés szükséges bármelyik cement alkalmazása esetén. A meghosszabbított utókezelést az m9 megjegyzés szerint kell végezni.

m11 Csak ≥ 42,5 szilárdsági osztályú cementek ajánlottak.

m12 A kopásállósági osztályokhoz előírt legkisebb szilárdságok a Holcim Cement-beton Kisokos (2008) 8.1. táblázata szerinti legyen.

m13 Ha az m10 szerinti hosszabbított utókezelés bármely okból lehetetlen, akkor *vízzárósági első vizsgálattal* kell kimutatni, hogy az e cementtel készített beton megfelel a követelményeknek.

m14 Az XV3(H) osztályban a mészkőlisztet tartalmazó CEM II jelű portlandcementekre és a CEM III/A, CEM III/B jelű kohósalakcementre vízzárósági első vizsgálattal akkor is ki kell mutatni, hogy az e cementtel készített beton megfelel a követelményeknek, ha az m10 megjegyzés szerinti hosszabbított utókezelés megvalósul.

m15 Szervesen szennyezett víznek, szennyvíziszapkezelők vegyi támadásának is ellenáll. A szulfátállóság a kohósalak-tartalom növekedtével egyértelműen javul.

m16 Az XA2 és az XA3 környezeti osztályban a korróziót savas környezet vagy lágyvíz okozza (oldódásos korrózió), akkor meghosszabbított beton-utókezelés kell minden, ebben az osztályban alkalmazható cement esetén. A meghosszabbított utókezelést az m9 megjegyzés szerint kell végezni.

m17 Ha a beton légbuborékképző adalékszer nélkül készül, akkor legalább C35/45 nyomószilárdsági osztályú legyen.

m18 XD környezeti osztályban megfelel.

m19 Ez a cement CEM 42,5 szilárdsági változatban betonpályáburkolathoz is alkalmas lehet.

m20 Ha a cement mészkőliszt-tartalma < 20 tömeg%, akkor kedvezőbb is lehet.

m21 *V* jelű pernyés cementtel készített fagyálló beton esetén a légbuborékképző adalékszer szükséges adagja az ajánlottól fölfelé eltérhet.

m22 Meleg időjárásban, illetve 20 cm-nél vastagabb rétegben nem alkalmazható.

m23 Franciaországban az XA1 és XA2 szulfátos környezeti osztályban (az MS jelű mérsékelten szulfátálló és S jelű szulfátálló cementeken kívül) csak a CEM II/A-S és CEM II/A-V jelű portlandcementet engedik használni. A CEM II/A-L és CEM II/B-L jelű portlandcement használata az XA környezeti osztályban tilos.

Δ Megjegyzések a feltételekhez kötött esetekre

Δ1 Alkalmazása csak a kérdéses környezeti osztályra értelmezett fagyállóság előzetes igazolásával ajánlott.

Δ2 Csak CEM 42,5 vagy CEM 32,5 R szilárdsági osztályú és 50 tömeg%-nál nem több kohósalakot tartalmazó cement fajtára ajánlott.

Δ3 Csak szennyvízkezelő műtárgyak bizonyos részeihez, külön előírások alapján ajánlott.

Δ4 CEM 32,5 szilárdsági osztályú cement csak akkor alkalmazható, ha az előírt nyomószilárdsági osztályú betonon előzetesen végzett (első) vizsgálat *Böhme*-féle kopási eredményei igazolják, hogy az előírt kopásállósági követelmény teljesült. CEM II/.. 42,5 jelű portlandcement és a CEM III/A jelű kohósalakcement alkalmazása esetén is javasolt a kopásállósági vizsgálat, mert az ezekkel a cementekkel készült betonban a cementkő kevesebb C_3S (trikalcium-szilikát) összetevőt tartalmaz, mintha a beton CEM I 42,5 jelű portlandcementtel készült volna.

Δ5 Az XD2 és XD3 környezeti osztályban klorid migrációs gyors vizsgálattal (első vizsgálattal) ellenőrzendő, hogy a D_{nssm} migrációs együttható $5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s alatt van-e. Megjegyezzük, hogy az NF EN 206-1 francia szabvány NA.F.1 táblázata ilyen környezeti esetekre csak 5 tömeg% mészkőliszt-tartalmat enged meg.

Δ6 A francia NF P18-011 szabvány T48 jelű műszaki magyarázata (Collection Technique Cimbeton, La durabilite des betons) a CEM V/A és CEM V/B jelű kompozitcementet a szulfátálló cementek közt sorolja föl.

17.3. Cementek felhasználhatósága mérnöki műtárgyak, például közúti hidak építéséhez

A közúti hidak építésének egyes munkafolyamataihoz felhasználható

- cementek fajtáját (CEM I portlandcement, CEM II összetett portlandcement, CEM III kohósalakcement, CEM I-SR, CEM III/B-SR szulfátálló cement),
- CEM II ÉS CEM III fajtájú cementek fő alkotórészei összetételének tömegarányát (A, B),
- CEM II fajtájú cementek fő alkotórészeit a portlandcementklinkeren (K) kívül (S granulált kohósalak, V savas jellegű pernye, P trasz),
- cementek szilárdsági osztályát (32,5 N, 32,5 R, 42,5 N, 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R),
- cementek különleges tulajdonságait (például S, illetve SR szulfátálló, MS mérsékelten szulfátálló)

a cement mechanikai, fizikai, kémiai tulajdonságai, a hídszerkezet tervdokumentációja, a szerkezeti részre előírt MSZ 4798-1:2004 szerinti betonminőség, az építés (kivitelezés) körülményei (például a beton szállítási távolsága, bedolgozása, időjárás), az MSZ 4798-1:2004 szabvány cementekkel kapcsolatos előírásai és ajánlásai vagy más hiteles források alapján a beton összetételét tervező betontechnológus határozza meg, és a betontechnológiai utasításban rögzíti.

Közúti beton, vasbeton és feszített vasbeton hídszerkezetek, valamint egyéb hídépítési műtárgyak – átereszek, támfalak stb. – betonjaihoz elsősorban MSZ EN 197-1:2011 szerinti, általános felhasználású CEM I fajtájú portlandcementet, CEM II fajtájú összetett portlandcementet és CEM III/A, CEM III/B fajtájú kohósalakcementet, illetve CEM I-SR, CEM III/B-SR jelű szulfátálló cementet, valamint MSZ 4737-1.2002 szerinti szulfátálló (S) és mérsékelten szulfátálló (MS) különleges cementet szabad használni.

Az alkalmazott cement szilárdsági osztálya előnyösen 32,5 vagy 42,5, de indokolt esetben 52,5, különleges esetben pedig 22,5 is lehet. A cement szilárdulási üteme a betonozás körülményeitől

és a beton kívánt korai viselkedésétől függően normál (N), nagy kezdőszilárdságú (R) vagy kis kezdőszilárdságú (L) legyen.

CEM II fajtájú 32,5 szilárdsági osztályú portlandcementet legfeljebb C40/50 nyomószilárdsági osztályú beton készítéséhez ajánlatos használni.

Feszített vasbeton szerkezetek készítéséhez CEM I vagy CEM II R fajtájú cementet előnyös használni, utófeszített vasbeton szerkezetek készítéséhez CEM II N fajtájú cement is használható.

Vasbetonba való alkalmazásra a CEM III/A 32,5 jelű kohósalakcement legfeljebb C40/50 beton-nyomószilárdsági osztályig, a CEM III/B 32,5 N-SR jelű szulfátálló kohósalakcement legfeljebb C35/45 beton-nyomószilárdsági osztályig javasolható.

CEM III fajtájú kohósalakcementet feszített vasbeton készítéséhez nem szabad használni.

A CEM III/A 32,5 N kohósalakcement mérsékelt kezdőszilárdságú, jelentős utószilárdulású, kis hőfejlesztésű cement. Szulfátállósága jelentős, zsugorodási és repedési hajlama csekély. Javasolható mérsékelten agresszív szulfáthatásnak (talajvíz: ≤ 3000 mg/liter szulfátion-tartalom, talaj: ≤ 12000 mg/liter szulfátion-tartalom) kitett, XA2 környezeti osztályú szerkezetek betonozásához, tömegbetonok és vízépítési betonok készítéséhez. Egyike a legtöbb kloridiont megkötő cementeknek, ezért alkalmazása olvasztósó hatásának kitett vasbetonszerkezetek készítéséhez mind természetes szilárdítás, mind gőzölés esetén különösen előnyös. Tulajdonságait az MSZ EN 197-1:2011 szabvány tárgyalja.

A hazai gyártású, MSZ 4737-1:2002 szerinti CEM III/B 32,5 N-S szulfátálló kohósalakcement megfelel az MSZ EN 197-1:2011 szabványban előírt szulfátállósági követelménynek is, tehát viselheti a CEM III/B 32,5 N-SR jelet. A megfelelőségi tanúsítvány mindkét szabványnak való megfelelőség igazolását tartalmazza. A CEM III/B 32,5 L-SR szulfátálló kohósalakcement kis kezdőszilárdságú cement. Szulfátállósága jelentős, zsugorodási és repedési hajlama csekély. Javasolható erősen agresszív szulfáthatásnak (talajvíz: ≤ 6000 mg/liter szulfátion-tartalom, talaj: ≤ 24000 mg/liter szulfátion-tartalom) kitett, XA3 környezeti osztályú szerkezetek betonozásához, tömegbetonok és vízépítési betonok készítéséhez. Tulajdonságait az MSZ EN 197-1:2011, illetve az MSZ 4737-1:2002 szabvány tárgyalja.

A kis kezdőszilárdságú, CEM III fajtájú, 32,5 L, 42,5 L, 52,5 L szilárdsági osztályú kohósalakcementek tulajdonságait az MSZ EN 197-1:2011 szabvány írja le.

Az általános felhasználású kis hőfejlesztésű (≤ 270 J/g hidratációs hőfejlesztés az első hét nap alatt) közönséges cementekkel (jele LH) szintén az MSZ EN 197-1:2011 szabvány foglalkozik.

Tömegbetonok, például gátak, hídfők és egyéb kis felület/térfogat hányadosú mélyépítési szerkezeti elemek készítése céljára a VLH jelű, 22,5 szilárdsági osztályú, MSZ EN 14216:2004 szerinti nagyon kis hőfejlesztésű (≤ 220 J/g hidratációs hőfejlesztés az első hét nap alatt) különleges cementek alkalmazhatók. A 22,5 szilárdsági osztályú, nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementeket kizárólag tömegbetonok készítéséhez szabad felhasználni, és a beton nyomószilárdsági osztálya legfeljebb C30/37 lehet, de az előírt beton nyomószilárdság 28 naptól eltérő teljesülési időpontjában is meg lehet egyezni, ha a beton jelét egyidejűleg 28 napos korra átalakítják. A környezeti osztályokra vonatkozó, MSZ 4798-1:2004 szerinti követelmények a 22,5 szilárdsági osztályú cement cementfajta alkalmazása esetén is fennállnak. Megjegyzés: 22,5 szilárdsági osztályú cementet hazánkban jelenleg nem gyártanak.

Nyári betonozásnál és különösen tömegbetonok esetén fontos a mérsékelt hőfejlesztésű cementek alkalmazása, mert a nagy hőfejlesztésű cementek nyáron a beton szilárdulási ütemét

gyorsítják, konzisztenciáját szárazabbá teszik, vízigényét megnövelik, a tömegbetonok esetén pedig az igen nagy (akár 60-65 ºC) belső hőmérséklet és a jobban kihűlő határoló felületek miatt egyenlőtlen keresztmetszeti felmelegedést okoznak, a kéregben húzófeszültségeket ébresztenek, és mind nyári betonozás, mind tömegbetonok esetén a beton zsugorodását és repedésérzékenységét növelik.

A cement feleljen meg a hídszerkezeti elemek, illetve más mérnöki műtárgyak MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti környezeti osztályainak. A környezeti osztályokban alkalmazható cementek fajtáira svéd tapasztalatok alapján az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD F2. táblázata mutat be példát, de sokkal bővebb a DIN 1045-2:2008 és az ÖNORM 4710-1:2004 szabvány idevágó táblázata.

Az agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező betonok környezeti osztályának jele az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint: XA1, XA2, XA3 (*17. táblázat*). Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány különbséget tesz az oldódásos (XAL) és a szulfátos duzzadásos (XAT) betonkorrózió között (*39.* és *40. táblázat*). Az XA1 környezeti osztályban valamennyi MSZ EN 197-1:2011 szerinti CEM II fajtájú kohósalakportlandcement alkalmazható. Az XA2 környezeti osztályban az MSZ 4737-1:2002 szerinti MS jelű mérsékelten szulfátálló portlandcementet, vagy S jelű szulfátálló portlandcementet (például CEM I 32,5 R-S), vagy CEM III/A fajtájú MS jelű kohósalakcementet (például CEM III/A 32,5 N-MS), vagy CEM III/B szulfátálló kohósalakcementet (például CEM III/B 32,5 N-S), illetve az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti SR jelű szulfátálló cementeket; az XA3 környezeti osztályban az MSZ 4737-1:2000 szerinti S jelű szulfátálló portlandcementet (például CEM I 32,5 R-S), vagy CEM III/B 32,5 N-S fajtájú szulfátálló kohósalakcementet, illetve az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti SR jelű szulfátálló cementeket kell alkalmazni. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szerint duzzadásos korrózió (XAT) esetén a CEM II/A-L és a CEM II/B-L fajtájú mészkőliszt-portlandcementet nem szabad használni.

A cement és bizonyos adalékanyag kombinációk tartósságához (az alkáli szilikát és az alkáli dolomit reakció elkerülésére) a hosszú távú megelőző tapasztalatok hiányában szükséges lehet a következő óvintézkedések egyikének megtétele:

- korlátozni kell a betonkeverék teljes alkáli-tartalmát;
- kis alkáli-tartalmú cementet (például NA jelű cementet) kell alkalmazni;
- korlátozni kell a beton cementtartalmát;
- nem reaktív adalékanyagot kell alkalmazni (a szilikátok közül reaktív például az amorf, nem kristályos kvarc);
- korlátozni kell a beton vízfelvevő-képességét,
- további alkáliáknak a betonhoz jutását meg kell akadályozni.

Megjegyzés: További ismeretek tartalmaz a MSZ CR 1901:2000 Regionális előírások és ajánlások a beton alkáli kovasav reakció okozta károsodásának elkerülésére című CEN jelentés.

A 76/769/EEC Irányelv szerint a cement és cementtartalmú készítmények nem használhatók fel, ha hidratált állapotban a cement össztömegére számított 0,0002%-nál (azaz 2 ppm-nél) nagyobb mennyiségben tartalmaznak vízben oldható Cr(VI)-t, azaz króm-VI-ot. Ezen előírás betartása érdekében a cementgyárak redukáló szert használnak. A megfelelőség a friss betonkeverék esetében (ekkor mérik) csak abban az esetben biztosítható, ha a keverővíz Cr(VI)-tartalma és a cement vízoldható Cr(VI)-tartalma együttesen kevesebb 2 ppm-nél.

A cement kiválasztásánál nem elegendő a beton 28 napos nyomószilárdságra előírt értékét figyelembe venni. A beton tervezéséhez és készítéséhez azok a cementfajták használhatók fel, amelyekre rendelkezésre állnak az 1 évnél nem régebbi, 2, 28 és 90 napos korú betonra vonatkozó *Abrams*-féle betonszilárdság-becslő függvények. Ezeket a betonszilárdság-becslő függvényeket a víz-cement tényező v/c = 0,35-1,00 közötti tartományában készített

betonkeverékeken kell vizsgálni. Továbbá rendelkezésre kell állnia a beton-nyomószilárdsági adatok mellett a lassú alakváltozásra, azaz a legalább 180 napos zsugorodásra (külön száradási és autogén) és a legalább 180 napos kúszásra vonatkozó vizsgálati eredményeknek.

Az alkalmazandó cement kiválasztásánál fentieken kívül következőket is figyelembe kell venni:

– a készítendő szerkezet technológiáját (például feszített szerkezet);
– a szerkezet készítése során és közvetlenül utána várható környezeti körülményeket (például az évszak, a hőmérséklet, az első koptatás, fagyás és sózás várható időpontja);
– a szerkezet méreteit (hőfejlődés);
– a szerkezet utókezelési lehetőségeit (minél nagyobb a kiegészítőanyag-tartalom, annál hosszabb utókezelés szükséges).

Die Eigenschaften des Betons

Versuchsergebnisse und Erfahrungen zur Herstellung und Beurteilung des Betons

Von

Otto Graf

o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart
Direktor des Instituts für Bauforschung und des
Instituts für technische Holzforschung

Mit 359 Abbildungen
und 63 Zahlentafeln



Springer-Verlag
Berlin / Göttingen / Heidelberg
1950

18. KEVERŐVÍZ

A víz minőségére vonatkozó követelményeket a MSZ EN 1008:2003 szabvány tárgyalja.

A keverővíz általában ivóvíz minőségű legyen. Nem lehet – egyébként iható – gyógyvíz, ásványvíz, illetve talajvíz, kellemetlen szagú, színezett, zavaros, habzó, pezsgő víz. Vezetékes ivóvizet a betonkészítés bármely folyamatában vizsgálat nélkül szabad használni. Amennyiben a keverővíz nem, vagy nem teljes egészében vezetékes ivóvíz, akkor be kell tartani az MSZ EN 1008 szabvány szerinti követelményeket.

Ha a keverővízként használt visszanyert betongyártási víz ivóvíz eredetű, akkor szilárdrész-, olaj- és zsír-, tisztítószer-, lebegőanyag-, huminanyag- (humusz)-tartalmát, szagát, kémhatását, a cementpép kötésidejére és a beton vagy cementhabarcs (korai) nyomószilárdságára gyakorolt hatását, valamint a keverővíz és a cement együttes vízoldható Cr(VI)-tartalmát kell megvizsgálni.

Ha a keverővízként használt visszanyert betongyártási víz az ivóvízen kívül egyéb eredetű vizet is tartalmaz, akkor a fentieken kívül a klorid-, szulfát-, alkáli-, cukor-, foszfát-, nitrát-, ólom-, cinktartalomra előírt követelménynek is meg kell felelnie.

Ha a betonkeveréshez visszanyert vizet használnak, akkor a beton megfelelőségét is ilyen betonból vett mintákon kell vizsgálni.

Az adalékanyag mosására és a beton utókezelésére használt víz feleljen meg a keverővízzel szemben támasztott követelményeknek.

A keverővíz vizsgálandó tulajdonságai és a vízvizsgálatok szükséges gyakorisága a *49. táblázatban* található. A vízminta térfogata legalább 5 liter legyen. A tiszta, és a vizsgálandó vízzel előzőleg átmosott edényt színültig kell a vízmintával megtölteni, és szorosan le kell zárni.

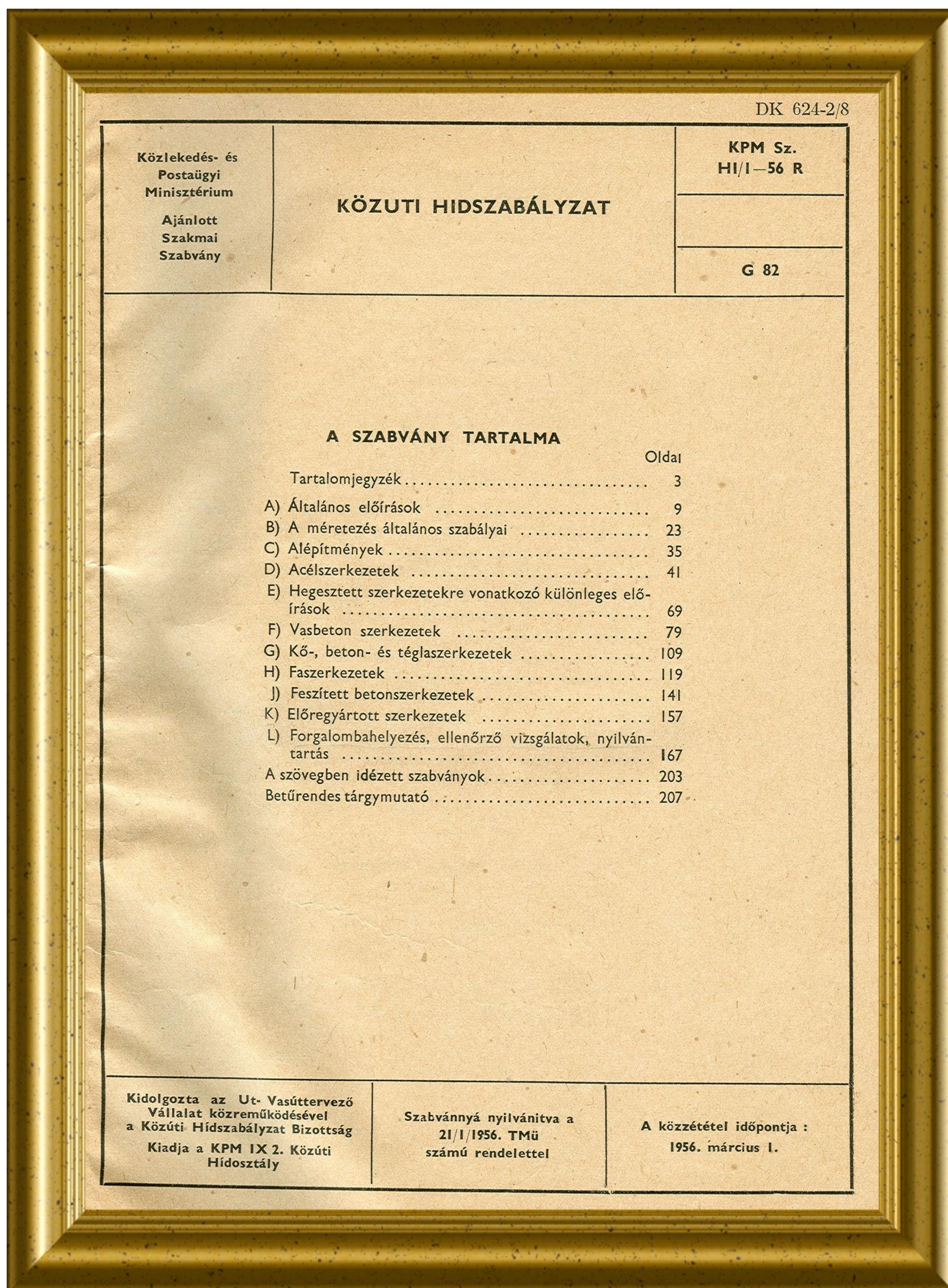
49. táblázat: A keverővíz tulajdonságai és vizsgálati gyakorisága

Anyag és tulajdonság	Követelmény	Vizsgálat	Vizsgálat gyakorisága, legalább
Keverővíz ivóvízből			
Természetes víz esetén: Eredet és állapot, hidrogénion-koncentráció, szulfát-, klorid-, szervesanyag-, lebegőanyag-tartalom	Ivóvíz használata esetén a víz vizsgálata szükségtelen. A víz általában nem lehet gyógyvíz, ásványvíz, talajvíz, kellemetlen szagú, színezett, zavaros, habzó, pezsgő víz	MSZ EN 1008	Szemrevételezés műszakonként, laboratóriumi vizsgálat betonüzem létesítésekor, és szükség esetén, ha a szemrevételezés indokolja, vagy a keverővíz eredete megváltozik
Keverővízként használt, betongyártásból visszanyert, ivóvíz eredetű víz Ha a visszanyert vizet tiszta ivóvízzel keverik, a követelmények a vízkeverékre értendők			
Visszanyert vízzel a beton keverékbe vitt szilárdrész	Kevesebb, mint az adalékanyag 1 tömegszázaléka	Visszanyert víz sűrűségmérése	Kéthetente
Olaj- és zsírtartalom	Nyomokban	MSZ EN 1008	Kéthetente
Tisztítószer-tartalom	A habnak 2 percen belül össze kell esni	MSZ EN 1008	Kéthetente
Lebegőanyag-tartalom	≤ 4 ml /1000 ml víz	MSZ EN 1008	Kéthetente
Szag	Az ivóvíz szagon kívül csak gyenge cement szag vagy pernye jelenlétében gyenge kénhidrogén szag megengedett	MSZ EN 1008	Kéthetente
Kémhatás	pH ≥ 6	MSZ EN 1008	Kéthetente
Huminanyag-tartalom (humusztartalom)	3 százalékos NaOH oldat hatására a víz színe gyengén sárgás barna vagy világosabb kell legyen	MSZ EN 1008	Kéthetente
A visszanyert vízzel kevert cementpép próbatestek kötésideje. A vizsgálathoz desztillált vagy iontalanított vízzel kevert referencia próbatestek is szükségesek	A kötés kezdete nem lehet kevesebb 1 óránál, a vége nem lehet több 12 óránál. Egyik sem térhet el a referencia próbatestek kötés kezdetétől és végétől több, mint 25 százalékkal.	MSZ EN 1008 MSZ EN 196-3	Kéthetente Vizsgálatonként 3-3 próbatest
A visszanyert vízzel kevert beton vagy cementhabarcs próbatestek nyomószilárdsága 7 napos korban. A vizsgálathoz desztillált vagy iontalanított vízzel kevert referencia próbatestek is szükségesek	A visszanyert vízzel kevert próbatestek átlagos nyomószilárdsága el kell érje a referencia próbatestek átlagos nyomószilárdságának 90 százalékát.	MSZ EN 1008 MSZ EN 196-1 MSZ EN 12390-2 MSZ EN 12390-3	Kéthetente Vizsgálatonként 3-3 próbatest
Keverővíz és a cement vízoldható Cr(VI)-tartalma együtt	A cement össztömegének < 0,0002 %-a (például < 2 mikrogramm/gramm)	MSZ EN 196-10	Ha kvalitatív vizsgálattal kimutatható

A 49. táblázat folytatódik

A 49. táblázat folytatása

Anyag és tulajdonság	Követelmény	Vizsgálat	Vizsgálat gyakorisága, legalább
Keverővízként használt, betongyártásból visszanyert víz, ha az ivóvízen kívül egyéb eredetű vizet is tartalmaz, akkor a fentieken kívül a következő követelményeknek is feleljen meg A követelmények a vízkeverékre értendők, akkor is, ha a visszanyert vizet ivóvízzel keverik			
Kloridion-tartalom (Cl^-)	Beton esetén: ≤ 4500 mg/l Vasbeton esetén: ≤ 1000 mg/l Feszített vasbeton és injektálóhabarcs esetén: ≤ 500 mg/l	MSZ EN 1008 MSZ EN 196-2	Havonta és ha a visszanyert víz összetétele változik
Szulfátion-tartalom, (SO_4^{2-})	≤ 600 mg/l	MSZ EN 196-2	Havonta és ha a visszanyert víz összetétele változik
Alkáli-tartalom	Na_2O-egyenérték (Na_2O-tartalom tömeg% + 0,658·K_2O-tartalom tömeg%) ≤ 1500 mg/l	MSZ EN 1008 MSZ EN 196-2	Alkáli érzékeny adalékanyag használata esetén
Cukortartalom	≤ 100 mg/l	MSZ EN 1008	Ha kvalitatív vizsgálattal kimutatható
Oxidban kifejezett foszfáttartalom, (P_2O_5)	≤ 100 mg/l	MSZ 448-18	Ha kvalitatív vizsgálattal kimutatható
Nitráttartalom, (NO_3^-)	≤ 500 mg/l	MSZ EN 1008 ISO 7890-1	Ha kvalitatív vizsgálattal kimutatható
Ólomtartalom, (Pb^{2+})	≤ 100 mg/l	MSZ 448-9	Ha kvalitatív vizsgálattal kimutatható
Cinktartalom, (Zn^{2+})	≤ 100 mg/l	MSZ 12750-8	Ha kvalitatív vizsgálattal kimutatható



DK 624-2/8

Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium Ajánlott Szakmai Szabvány	KÖZUTI HIDSZABÁLYZAT	KPM Sz. HI/I—56 R G 82

A SZABVÁNY TARTALMA

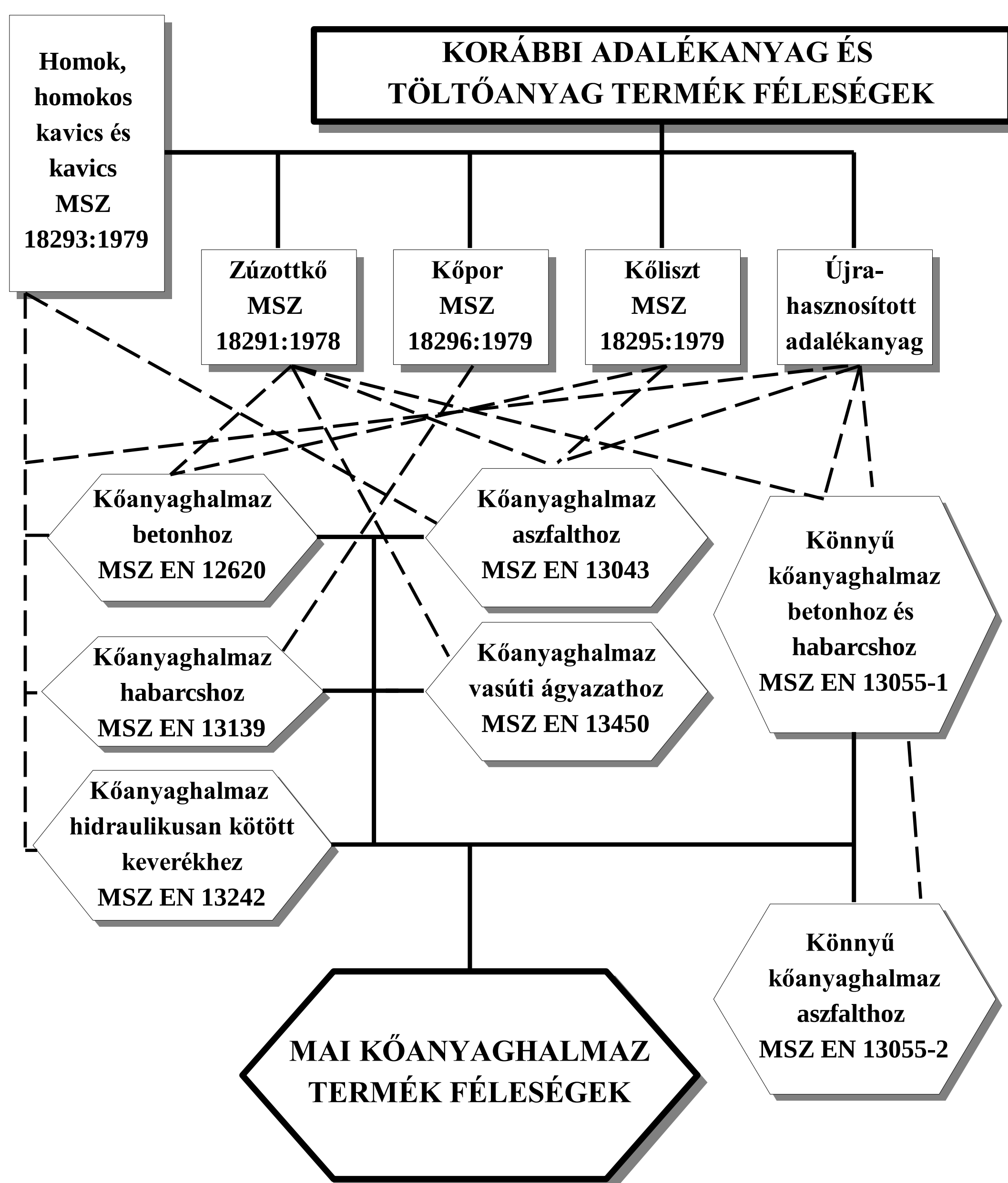
Kidolgozta az Ut- Vasúttervező Vállalat közreműködésével a Közúti Hídszabályzat Bizottság Kiadja a KPM IX 2. Közúti Hídosztály	Szabvánnyá nyilvánítva a 21/I/1956. TMü számú rendelettel	A közzététel időpontja : 1956. március 1.

19. ADALÉKANYAGOK

A szilárd beton térfogatának legalább 50-60 %-a adalékanyag, ezért annak tulajdonságai döntően hatnak a beton minőségére.

19.1. ADALÉKANYAG FAJTÁK

A homok, homokos kavics, kavics, zúzottkő, kőpor, kőliszt tárgyú magyar nemzeti adalékanyag termék szabványokat hét új európai kőanyaghalmaz termék szabvány váltotta fel (*44. ábra*), amelyek közül kettő, az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 és az MSZ EN 13055-1:2003 foglalkozik a betonadalékanyagokkal, függetlenül azok anyagi mivoltától (tehát például a homok, kavics, mészkőliszt stb. megnevezéseket nem tartalmazza). Az európai betonadalékanyag (MSZ EN 12620:2002+A1:2008) és könnyű adalékanyag (MSZ EN 13055-1:2003) szabvány a kőlisztek és az újrahasznosított adalékanyagok tulajdonságait is tárgyalja.



44. ábra: Adalékanyag, illetve kőanyaghalmaz termékek korábbi és mai szabványai

Mind a hét új európai kőanyaghalmaz termékszabvány, így a betonadalékanyag és a könnyűbeton adalékanyag szabvány is harmonizált. E szabványok szerinti adalékanyagok – a szabvány ZA. mellékletében foglaltak szerint – a 768/2008/EK számú európai parlamenti és tanácsi határozatban és az azt kiegészítő 765/2008/EK számú építési termék rendeletben (CPR) megfogalmazott „új jogi keret”-nek (New legal framework) megfelelően az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU számú rendeletében (CPR) szereplő „alapvető” követelményeket – mint a mechanikai szilárdság és állékonyság; tűzbiztonság (építmény állékonyság, életvédelem); higiénia, egészség- és környezetvédelem; biztonságos használat és akadálymentesség; zajvédelem; energiatakarékosság és hővédelem; természeti erőforrások fenntartható használata – teljesítő építményekbe beépíthetők, és ezért a megfelelő eljárást követően a CE (Conformité europénne) jellel megjelölhetők.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 európai betonadalékanyag szabvány hazai alkalmazását az MSZ 4798:1:2004 betonszabvány és a BV-MI 01:2005 beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv, hazai betonútépítési alkalmazását az e-UT 05.01.14:2009 és az e-UT 05.02.31:2008 útügyi műszaki előírás értelmezi, illetve szabályozza.

A betontechnológiában közönséges (normál) adalékanyagnak a természetes és mesterséges eredetű, a természetben aprózódott, vagy iparilag aprított (tört), esetleg granulált (szemcsézett), kiszárított állapotban az MSZ EN 1097-6:2001 szerint meghatározott 2001-3000 kg/m^3 testsűrűségű szemekből álló halmazokat nevezik, amelyek – a kötőanyagon, a vízen, az adalékszeren, a kiegészítőanyagon, erősítő szálakon kívül – a betonok fő összetevői, és összességükben a betonok üregmentes, pórusmentes térfogatának legalább 50-60 %-át kitöltik, és MSZ 4798-1:2004 szerinti legalább C8/10 nyomószilárdsági osztályú, közönséges beton készítésére alkalmasak.

A közönséges betonadalékanyagok az útügyi műszaki előírások alapján az e-UT 06.03.31:2006 szerinti (C20/25 – C30/37 nyomószilárdsági osztályú) zúzottkőbeton pályaburkolatok, az e-UT 06.03.32:1993 szerinti (C4/5 – C12/15 nyomószilárdsági osztályú) útépítési beton burkolatalapok, az e-UT 06.03.52:2007 szerinti hidraulikus kötőanyagú útpályaszerkezeti alaprétegek, valamint az e-UT 07.01.14:2004 szerinti közúti hídszerkezetek készítésére is használhatók. Az útpályabetonok szilárdsági osztályának betűjele az e-UT 06.03.31:2006, e-UT 06.03.11:2006, e-UT 06.03.12:2009 útügyi műszaki előírás szerint: CP, az útpályaszerkezetek hidraulikus kötőanyagú alaprétegeinek a betűjele cementstabilizáció esetén: CK_t.

A könnyű adalékanyag természetes vagy mesterséges eredetű szemhalmaz, amely kiszárított állapotban az MSZ EN 1097-6:2001 szerint meghatározott ≤ 2000 kg/m^3 testsűrűségű szemekből áll, vagy az MSZ EN 1097-3:2000 szerint meghatározott halmazsűrűsége laza, kiszárított állapotban ≤ 1200 kg/m^3, és az MSZ 4798-1:2004 szerinti legalább LC8/9 nyomószilárdsági osztályú, teherbíró könnyűbeton készítésére alkalmas.

A nehéz adalékanyag szemeinek kiszárított állapotban, az MSZ EN 1097-6:2001 szerint meghatározott testsűrűsége ≥ 3000 kg/m^3.

19.1.1. Homokos kavics, kavics, homok

A legelterjedtebben használt természetes eredetű, közönséges (normál) beton és habarcs adalékanyag a homok, kavics, homokos kavics, amely a víz (ritkán a szél, esetleg a gleccser) által szállított laza törmelékes kőzet, ezért általában törés nélkül, mosás és osztályozás után, ritkábban ezek nélkül is alkalmas beton és habarcs készítésére. A 4 mm alatti szemeket homoknak, a 4 mm felettieket kavicsnak nevezik.

Az építési célú homokos kavicsot a partról sínen vagy hernyótalpon járó kotrókkal, a vízen markolós, vederláncos, hidropneumatikus úszókotrókkal, bányatavakból vagy folyókból termelik ki. A kikotort homokos kavicsot agyagrögtelenítik, majd vizesen, mosva osztályozzák, osztályozás után víztelenítik, a nagyobb kavics szemeket megtörik, majd a mosott, osztályozott anyagot (frakciókat) depóniákban tárolják. A depóniák alatt általában depónia-felszedő alagutak húzódnak, de a gépkocsira rakodás gumikerekű, forgó-felsővázas markolókkal is megoldott.

A visszavont MSZ 18293:1979 *homok, homokos kavics és kavics termék szabvány* szerint a természetes, a kitermelés során nem módosított szemmegosztású anyag neve *nyerstermék* (homok vagy homokos kavics). Ha a nyerstermék előírt méreten felüli szemeit leválasztják, és mossák, akkor a *természetes szemmegoszlású termék* (homok vagy homokos kavics) állt elő. Az *előírt szemmegoszlású termék* (homok, homokos kavics) legkisebb szemnagysága zérus, és szemmegoszlási görbéje az előírt határgörbék között helyezkedett el. A nyerstermékből agyagrögtelenítéssel, osztályozással, mosással, töréssel előállított, meghatározott alsó és felső szemnagysághatárú termék az *osztályozott termék* (homok, kavics, gyöngykavics) nevet viselte, amelyet a gyakorlatban általában latin eredetű szóval, *frakció*nak hívnak. A *kavicsból tört termék* (homok, kavics, homokos kavics) legalább 90 tömeg% tört szemet, a *vegyes termék* (osztályozott homok, osztályozott kavics) a természetes aprózódású szemek mellett 10-90 tömeg% tört szemet is tartalmazhatott.

Az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány szerint az építési célú, természetes aprózódású homok, kavics, homokos kavics adalékanyag minőségét az agyag-iszaptartalom, az agyagrögök mennyisége, a szerves szennyeződés, a szulfátion-tartalom, a legkisebb és a legnagyobb szemnagyság, az osztályozás élessége, a szemmegoszlás határozza meg.

A kavicsból tört termékek (*zúzottkavicsok*) minőségét a zúzottkövekéhez hasonlóan aprítási technológia is befolyásolja, ezért a szemnagyság mellett ezek Los Angeles aprózódását, mikro-Deval aprózódását, szulfátos kristályosítási veszteségét és szemalakját is meg kell vizsgálni.

A hazai homokokat, kavicsokat, homokos kavicsokat általában túlnyomóan a nagyon ellenálló, kemény (*Mohs*-féle skálán 6,5-7,0) kvarc, kvarcit szemek alkotják, ezért Magyarországon a szilárdságukat, az időállóságukat, a szemalakjukat nem szokás vizsgálni, és visszavont MSZ 18293:1979 nemzeti szabványunk sem írta elő, következésképpen nem tartalmazott rá követelmény értékeket sem. Ezt a gyakorlatot – a dunai homokos kavics utóbbi időkben romló szövetszerkezeti tulajdonságai miatt – felül kellene vizsgálni, és erre az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 európai szabvány lehetőséget is ad. A szilárdságot az MSZ EN 1097-2:2010 és az MSZ EN 1097-1:1998 szabvány szerint, a közvetlen fagyállóságot az MSZ EN 1367-1:2007 vagy MSZ EN 1367-6:2009 szabvány szerint, a közvetett fagyállóságot az MSZ EN 1367-2:2010 szabvány szerint, a szemalakot az MSZ EN 933-3:1998 vagy MSZ EN 933-4:2008 szabvány alapján, a magyar sajátságok figyelembevételével lehet meghatározni.

A betontechnológiai követelményeket messzemenően figyelembe vevő visszavont MSZ 18293:1979 nemzeti termék szabvánnyal szemben a MSZ EN 12620:2002+A1:2008 európai szabvány kifejezetten a *közönséges (normál) betonok adalékanyagának szabványa*. A két szabvány szemléletbeli különbségét jól tükrözi, hogy míg a visszavont nemzeti szabványban a „beton” szót, addig az európai szabványban a „kavics termék” kifejezést hiába keresnénk. Bár voltaképpen az európai szabvány is termék szabvány, sőt harmonizált termék szabvány, mégsem alkalmaz olyan egyértelmű, a termék mineműségére és minőségi osztályára utaló, a felhasználók műszaki irányelvében is érvényesíthető jelölés rendszert, mint a visszavont nemzeti szabvány.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 európai szabvány a *durva kőanyaghalmaz* (grobe Gesteinskörnung, coarse aggregate), a *finom kőanyaghalmaz* (feine Gesteinskörnung, fine aggregate), az *osztályozott kőanyaghalmaz* (Korngruppe, aggregate size), a *kőanyagkeverék* (Korngemisch, all-in aggregate), a *természetes szemmegoszlású kőanyaghalmaz* (natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung, natural graded aggregate), és a *kőliszt* (Füller = Gesteinsmehl, filler aggregate), valamint a *finomrész* (Feinanteil, fines) fogalmát ismeri.

A *durva kőanyaghalmaz* legkisebb szemnagysága $d \geq 2$ mm, legnagyobb szemnagysága $D \geq 4$ mm (eszerint a 2/4 mm szemhalmazhatárú osztályozott homok durva kőanyaghalmaznak számít), a *finom kőanyaghalmaz* (amely törésből is származhat) legnagyobb szemnagysága $D \leq 4$ mm, legkisebb szemnagysága $d = 0$. Az „osztályozott termék”-nek, „frakció”-nak megfelelő *osztályozott kőanyaghalmaz* legkisebb szemnagysága $d > 0$ mm, és a legkisebb és legnagyobb szemnagyságának hányadosa d/D. Az „előírt szemmegoszlású termék” neve *kőanyagkeverék*, legnagyobb szemnagysága $D \leq 45$ mm, legkisebb szemnagysága $d = 0$, és szemmegoszlási görbéje határértékek között kell, hogy elhelyezkedjék. A *természetes szemmegoszlású,* glaciális vagy folyami eredetű, de keveréssel is előállítható *kőanyaghalmaz* legnagyobb szemnagysága $D \leq 8$ mm, legkisebb szemnagysága $d = 0$. A *kőliszt* és a *finomrész* legnagyobb szemnagysága $D \leq 0{,}063$ mm. (MSZ EN 12620:2002+A1:2008)

A visszavont MSZ 18293:1979 homokos kavics szabványban az is szerepelt, hogy az agyagrögök, a kézzel szétmorzsolható, az agyag-iszappal bevont szemek mennyisége az adalékanyagban kevesebb kell legyen, mint 1,0 tömeg%, illetve legfeljebb C12/15 nyomószilárdságú beton készítése esetén, mint 2,0 tömeg%. A MÉASZ ME 04-19:1995 műszaki előírás 3. fejezete („A beton alapanyagai”) szerint az agyagrög olyan szem, amely (20 ± 5) °C hőmérsékletű nyugvó vízben 30 perces áztatás után sem esik szét és kézzel gyúrható. Agyag-iszappal bevont az a szem, amelyről a rátapadt agyag és iszap (20 ± 5) °C hőmérsékletű nyugvó vízben 5 perces áztatás után kézzel dörzsölve nem távolítható el.

A homok, kavics, homokos kavics jelének (megnevezésének) tartalmaznia kell a termék megnevezését a szemnagyság szerint (homok, kavics, homokos kavics), a névleges szemnagyság jelét, a termék szemnagyság osztályát (amelyben a számjel az osztályozás élességére utal), az agyag-iszaptartalom, a szerves szennyeződés, a szulfátion-tartalom (talajvízből kerülhet a homokos kavics előfordulásba) jelét, továbbá a szabvány, illetve szabványok jelét, amelynek alapján gyártották.

Például annak a homok frakciónak a jele, amelynek szemnagysága 1/4 mm; szemnagyság osztálya G_F85/20, MSZ 18288-2:1984 szabvány szerint meghatározott agyag-iszaptartalma kevesebb, mint 3 térfogat%, könnyű szerves szennyeződése $m_{LPC} \leq 0{,}25$ tömeg%, a szemek felületéről lemosható vízoldható szulfátion-tartalma SO_4-ben kifejezve $SS_{0,2} \leq 0{,}2$ tömeg%, és amelyet az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány szerint az MSZ 4798-1:2004 szabvány figyelembevételével gyártottak, a következő:

Homok – 1/4 mm – G_F85/20 – P – m_{LPC}0,25 – $SS_{0,2}$ – MSZ EN 12620 – MSZ 4798-1

Például annak a kavics frakciónak a jele, amelynek szemnagysága 8/16 mm; szemnagyság osztálya G_C80/15, könnyű szerves szennyeződése $m_{LPC} \leq 0{,}05$ tömeg%, a szemek felületéről lemosható vízoldható szulfátion-tartalma SO_4-ben kifejezve $SS_{0,2} \leq 0{,}2$ tömeg%, és amelyet az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány szerint az MSZ 4798-1:2004 szabvány figyelembevételével gyártottak, a következő:

Kavics – 8/16 mm – G_C80/15 – m_{LPC}0,05 – $SS_{0,2}$ – MSZ EN 12620 – MSZ 4798-1

19.1.2. Zúzottkő, zúzottkavics

A zúzottkő, amely a felhasznált mennyiség szempontjából elsősorban aszfaltadalékanyag és vasúti ágyazati kő, a közönséges (normál) betonnak is természetes eredetű adalékanyaga. Az 5 mm alatti szemeket szokás zúzaléknak is nevezni. A beton- és vasbetonépítésben zúzottkő alkalmazására vagy akkor kerül sor, amikor homokos kavics adalékanyag az építési hely közelében nem található, vagy amikor alkalmazásával az építési célnak jobban megfelelő beton készíthető. A zúzottkő adalékanyagú beton neve zúzottkőbeton.

A hazánkban előforduló, betonadalékanyagként felhasználható zúzottkövek eredetüket tekintve mélységi (például gránit), kiömlési (például bazalt, andezit, dácit, riolit, diabáz), vegyi üledékes (például tömött mészkő, dolomit) kőzetek.

A zúzottkő termékeket a jobb kőzetfizikai (szilárdsági és időállósági) tulajdonságoktól a gyengébb felé haladva az e-UT 05.01.14:2009 (régi jele: 2-3.601-2:2008) útügyi műszaki előírásban „A (0)" – „H (megadott)" jelű kőzetfizikai csoportokba sorolják. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti kőzetfizikai csoportok: *0, A, B, C1, C2, D1, D2*, könyvünkben ez utóbbi csoportba sorolást követjük.

A zúzottkő gyártás során a kőbányában a fedőrétegtől megtisztított bányafal szakaszt fúrólyukakba helyezett töltetekkel lerobbantják. A jövesztett kőanyagot meddő leválasztás után előtörő berendezésben (többnyire nagyméretű pofástörőn, amelynek garatnyílása akár 1,0 m is lehet) durván megtörik, és előosztályozóra (vibrorosta) szállítják. Az előosztályozó leválasztja a durvább szemeket, amelyek tovább törésre kerülnek. A finomabb szemeket többsíkú vibrorostákkal osztályozzák, frakciókra bontják. Ezek képezik az „egyszer tört", ún. „Z" jelű zúzottkő termékosztályokat. Az előosztályozóról lekerülő durvább szemeket utántörik (általában kúpostörőben, kalapácsos törőben, röpítő törőben stb.) és többsíkú vibrorostákkal, rezonancia szitákkal stb. osztályozzák, szükség esetén a durvább szemeket visszajuttatják az utántörőbe. Ezek a „kétszer tört" frakciók általában kielégítik az ún. „NZ" jelű nemes zúzottkő termékosztályok követelményét. A „KZ" jelű különleges zúzottkő termékosztályokat vagy különleges törőkkel (például röpítőtörő) vagy többszöri töréssel, és igen gondos osztályozással állítják elő. Ha a zúzott termék kavicsból készül (előállítási helye a kavicsbánya), akkor jele „ZK" zúzottkavics (e-UT 05.01.14:2009). A késztermékeket depóniákban tárolják, ahonnan a közúti és gépkocsi szállítás egyaránt, a vízi úton történő szállítás esetleg megoldott.

A zúzottkő anyagtani minőségét a kőzettani jellemzőkön túl a *kőzetfizikai*, és a kőbányászati feldolgozás során szerzett *technológiai* tulajdonságokkal fejezzük ki, megjegyezve, hogy a technikai tulajdonságok (például a szemalak) visszahatnak a termék kőzetfizikai tulajdonságaira (például a Los Angeles és a mikro-Deval aprózódásra). A kőzetfizikai tulajdonságokat nem csak terméken, hanem kőzettömbből vagy fúrásmagból laboratóriumban kialakított vizsgálati mintán is meg lehet határozni.

A betonkészítési, illetve útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok termékminősítő *kőzetfizikai tulajdonságai* a következők:

- a szilárdság, ütés- és kopásállóság, amelyet a Los Angeles, Deval, mikro-Deval, csiszolódás vizsgálat eredményével jellemzünk;
- az időállóság, amelyet a szulfátos kristályosítási, esetleg a fagy- és olvasztó-állósági vizsgálat eredményével jellemzünk (MSZ 4798-1:2004 és e-UT 05.01.14:2009).

A betonkészítési, illetve útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok termékminősítő *technológiai* tulajdonságai a következők:

– a szemnagyság és szemmegoszlás, az osztályozás élessége, amelyet a szitavizsgálat (MSZ EN 933-1:2012) eredményével jellemzünk;
– a finomszemek (0,02 mm-nél kisebb szemek) mennyisége, amelyet például hidrometrálással vizsgálunk;
– a szemalak, amelyet szemalak vizsgáló eszközökkel határozunk meg (MSZ EN 933-4:2008);
– a szerves vagy szervetlen (beleértve az agyag- és iszaptartalmat) szennyeződések, amelyeket szemrevételezéssel vagy kémiai elemzéssel vizsgálunk (MSZ 4798-1:2004 és e-UT 05.01.14:2009).

A zúzottkő és zúzottkavics betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állóságát alternatív módon betonban is lehet vizsgálni úgy, hogy a zúzottkőbeton vagy a zúzottkavicsbeton fagy- és olvasztósó-állóságát határozzuk meg az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány valamelyik módszerével, közvetlen fagyasztással. Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban a *peremes hámlasztás* referencia módszere és a *bemerítéses leválási, illetve kapilláris felszívásos hámlasztás* alternatív módszere található. A háromféle vizsgálat módszer mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazható (*Balázs L. – Kausay* 2008-2009).

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 európai betonadalékanyag szabvány nem tesz különbséget a természetes aprózódású homokos kavics, homok, kavics és a művi úton tört zúzottkő (zúzalék) között, ezért a szabvány a betonadalékanyagul szolgáló zúzottkövekre és zúzottkavicsokra is érvényes, így értelemszerűen kell alkalmazni. A zúzottkő termékeket hazánkban mindenek előtt aszfaltadalékanyagként hasznosítják, így az MSZ EN 13043:2003 európai szabvány és az e-UT 05.01.12:2008 útügyi műszaki előírás tárgykörébe is tartoznak, ezért a hazai kőbányák zúzottkő termékeiket döntő mértékben ezek alapján állítják elő, de beton és útbeton készítésükre való alkalmasságukat az MSZ 4798-1.2004 betonszabvány és az e-UT 05.01.14:2009 zúzottkő betonadalékanyag útügyi műszaki előírás alapján kell megítélni.

Ide kívánkozik a megjegyzés, hogy szerződni a már nem érvényes szabványok szerinti termékekre is lehet, ha abban az érdekelt felek megegyeznek, és ha a termékek előállítását a bánya vállalja.

Az e-UT 05.01.14:2009 betonkészítési zúzottkő útügyi műszaki előírás több lehetőséget ad a vevőnek (beruházónak, kivitelezőnek) a műszaki ellenőrzésre, mint az e-UT 05.01.12:2008 aszfaltkészítési útügyi műszaki előírás. Az MSZ EN 13043:2003 aszfaltadalékanyag szabvány felépítésében alig különbözik az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 betonadalékanyag szabványtól, de némely követelménye (például a szemalak) eltérő. Az európai beton és aszfaltadalékanyag szabványok a visszavont MSZ 18291:1978 magyar nemzeti zúzottkő szabványtól és az ugyancsak érvényét vesztett ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírástól több, lényeges vonatkozásban (például szemnagyságok, szemalak, Los Angeles aprózódás, mikro-Deval aprózódás) is eltérnek.

Az e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás szerint a zúzottkövek és zúzottkavicsok jelének (megnevezésének) tartalmaznia kell gyártó telephelynek a nevét, a termék jelét (KZ, NZ, Z vagy ZK), zárójelbe foglaltan a fizikai jellemzők jelét (LA, M_{DE}, MS), továbbá a termék kőzetfajtájának megnevezését és az útügyi műszaki előírás számát, amelynek alapján gyártották. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a kőzetfizikai tulajdonságok a kőzetfizikai csoport jelével (Kf) is kifejezhetők. Ezt a jelölés módot az útépítési zúzottköveken túl általában mindenféle zúzottkőre kiterjeszthetjük.

Például a legfeljebb 20 tömeg% Los Angeles aprózódási veszteségű, legfeljebb 15 tömeg% vizes mikro-Deval aprózódási veszteségű, legfeljebb 10 tömeg% magnézium-szulfátos kristályosítási veszteségű, Kf-*A* kőzetfizikai csoportú, NZ termékosztályú, 8/11 mm névleges szemnagyságú uzsai bazalt zúzottkő termék jele (megnevezése):

- az e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás szerint, ha kőzetfizikai tulajdonságokat referencia-vizsgálattal határozták meg:
  Zúzottkő – *NZ* 4/11 (LA_{20}, $M_{DE}15$, MS_{10}) – bazalt – a minta származási helye – e-UT 05.01.14
- az MSZ 4798-1:2004 szerint, ha kőzetfizikai tulajdonságokat alternatív-vizsgálattal határozták meg:
  Zúzottkő – *Kf-A*[a] – *NZ* 4/11 – bazalt – a minta származási helye – MSZ 4798-1

19.1.3. Könnyű adalékanyagok

A könnyű adalékanyagnak többféle meghatározása lehetséges. Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint a legalább 800 kg/m^3 testsűrűségű, folyamatos szemmegoszlású beton könnyű-adalékanyaga ásványi eredetű, szemeinek testsűrűsége kiszárított állapotban kisebb, mint 2000 kg/m^3, vagy halmazsűrűsége kiszárított és laza állapotban kisebb, mint 1200 kg/m^3.

A betonok és habarcsok könnyű adalékanyagaival az MSZ EN 13055-1:2003 európai szabvány foglalkozik. E szabvány szerint a könnyű adalékanyag ásványi eredetű, halmazsűrűsége kiszárított és laza állapotban 30-1200 kg/m^3, anyagát tekintve természetes kőanyaghalmaz, vagy természetes nyersanyagból, ipari melléktermékből, bontott építőanyag törmelékéből előállított szemhalmaz. Jellemzői a halmazsűrűség, a szemek testsűrűsége, a szemalak, a szemmegoszlás, a vízfelvétel, a halmazszilárdság, a térfogatállandóság, a klorid-, szulfát-, kéntartalom, az izzítási veszteség.

Az európai felfogás szerint tehát nem tartozik a könnyű adalékanyag fogalomkörébe a növényi eredetű adalékanyag, az egyszemcsés, nagy-hézagtérfogatú könnyűbeton kavics vagy zúzottkő adalékanyaga, a sejtesített könnyűbetonok adalékanyaga.

A következőkben röviden a jelentősebb beton és habarcs könnyű adalékanyagokat tárgyaljuk, beleértve a cellulóz-tartalmú, növényi, rostos anyagokat is, de nem tekintve adalékanyagnak az ásványi, fém, műanyag eredetű, és egyéb erősítő szálakat.

Tufa, azaz *vulkáni tufa.* A tufák magmás (eruptív) kőzetek csoportjába tartozó vulkáni törmelékes kőzetek, amelyek a vulkánokból a levegőbe röpített és ott megszilárdult lávarészekből álltak össze. Nevükben jelzőként a kiömlési (effuzív) kőzet nevét viselik (például riolittufa, dácittufa, andezittufa, bazalttufa). Magyarországon is előfordulnak (például a fenti sorrendben Bodrogkeresztúr, Tar, Szokolya, Egyházaskesző), de zúzott beton-adalékanyagként csak a bodrogkeresztúri kőbányában termelik. Egyébként inkább falazókőnek vagy talajjavításra használják. Finomszemű vagy finomra őrölt változata – ha hidraulikus tulajdonságú kovasavat tartalmaz – a *trasz* (vagy trassz; Trass holland szó, ragasztóanyagot jelent), amely a portlandcementklinker mellett a traszportlandcementek fő alkotórésze (*Vendl,*1953.).

Duzzasztott agyagkavics. (Hívják keramzitnak is, ami orosz elnevezés). A duzzasztott agyagkavicsot duzzadóképes, finom eloszlásban szerves anyagot tartalmazó, leginkább jura-kori agyagok felhasználásával gyártják. Az agyagot finomra őrlik, granulálják, majd forgódobos kemencében 1200 °C feletti hőmérsékleten kiégetik. Az égetés során az agyag szerves anyag tartalma elég, a szemek megduzzadnak, felületüket megolvadt és szinterezett burok képezi. A gyártási folyamat végén a terméket osztályozzák, és általában 0/4, 4/8, 8/16 mm szemnagyságban forgalmazzák. A duzzasztott agyagkavicsból könnyűbeton

falazóelemek, födémelemek, falazóhabarcsok, feltöltések készíthetők. Duzzasztott agyagkavicsot Magyarországon nem gyártanak, de import anyag (például Liapor) felhasználásával könnyűbeton termékek előállítása folyik.

Duzzasztott perlit. A perlit a riolit (kiömlési, azaz effuzív kőzet) üveges módosulata. Összetétele túlnyomórészt savanyú, és kötött vizet tartalmaz. Az egyébként nagy-szilárdságú, tömött kőanyag, őrleménye hirtelen nagy hőmérsékletre hevítve megduzzad, és belőle kis-testsűrűségű, cella szerkezetű gömbök keletkeznek. Magyarország jelentős perlitkészlettel rendelkezik a Tokaj hegységben, és kisebb mennyiségben a Mátrában. A perlitet jelenleg, 1957 óta, Pálházán bányásszák. A kőanyagot megtörik, megszárítják, több fokozatban osztályozzák és körfolyamatban 1,6 mm alá őrlik. A nyers perlitőrleményt az országban több helyen is duzzasztják, a duzzasztási hőmérséklet általában 950-1100 °C. A duzzasztott szemek legnagyobb szemnagysága 5 mm, általában 0/0,5, 0/1, 0/2, 1/5 mm szemnagyságra osztályozzák. Felhasználják hőszigetelő perlitbetonok (ha kötőanyaga cement), perlithabarcsok (ha kötőanyaga mészpép, vagy cement és mészpép), töltőanyagok, ipari szűrők készítésére, továbbá mezőgazdasági, állat takarmányozási, környezetvédelmi célra (SZTE-ÉTE 1998).

Zúzott tégla. Tégla anyagú építmények bontási törmelékéből, töréssel, osztályozással lehet legfeljebb LC 16/18 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton (MSZ EN 206-1) készítésére alkalmas zúzott téglát előállítani. A zúzott tégla előállítására szánt építmény faláról a vakolatot a fal bontása előtt el kell távolítani. Törekedni kell arra, hogy a zúzott tégla habarcs szennyeződése legfeljebb 15 tömeg% legyen. A zúzott téglát 0/4, 4/8, 8/16, 16/24 mm szemnagyságú adalékanyag frakciókra osztályozva lehet falazóelemek gyártására használni.

Kohóhabsalak. A kohóhabsalakot a nyersvas gyártási nagyolvasztó olvadt salakjának habosításával állítják elő. A nagyolvasztó salak lényegében savas, vagy bázikus jellegű szilikátolvadék. Az 1000 °C feletti kohósalakba habosító tálcán 4-5 att nyomással vizet nyomnak, amely víz a salakkal érintkezve gőzzé válik, és ezáltal a salakot habosítja. A habosított kohósalakot lehűtik, 30 mm legnagyobb szemnagyság alá aprítják és osztályozzák. A kohóhabsalak halmazsűrűsége 700-1150 kg/m^3. Hőszigetelő tulajdonságú könnyűbeton falazat, födémbéléstest készítésére, valamint vízszűrésre használható.

Granulált kohósalak. Ugyancsak a nagyolvasztó salakjából állítják elő. A vízárammal hűtött, lejtős csatornába juttatott olvadt salakot 4-5 att nyomású vízzel verőlapátkerékre sodorják, ahol miközben üvegesen megdermed, 0-10 mm-es szemekre aprózódik. A granulált kohósalak halmazsűrűsége 1000-1300 kg/m^3. A granulált kohósalak könnyű adalékanyag, de ennél jelentősebb, hogy őrleménye gyengén hidraulikus tulajdonságú, amely ezért a portlandcementklinker mellett a kohósalak-portlandcementek fő alkotórésze (például CEM II/B-S 32,5).

Pernyekavics. Hőerőműveknél keletkező pernye (porszénhamu) granulálásával, majd a granulátum 1200 °C körüli hőmérsékleten való kiégetésével állítják elő. A kiégett termék gömb alakú, nagy szilárdságú. Hazánkban nem gyártják.

Kazánsalak, azaz *szénsalak.* Könnyű adalékanyagként elsősorban a vörös kazánsalakok használhatók. Általában a kazánsalak-hányókból termelik ki az üveges szerkezetű, nem mállékony anyagot, amelyet osztályozás után például könnyűbeton falazóelemek gyártására, vagy födémek feltöltésére használnak.

Agloporit. Az agloporitot széntartalmú hulladékanyagok (pernye, kazánsalak) zsugorodásig való kiégetésével gyártják. Az égetés után lehűtött anyagot aprítják és osztályozzák. Hazánkban nem gyártják.

Duzzasztott üvegkavics (nevezik habkavicsnak, habosított, illetve duzzasztott üveg-granulátumnak is). Új termék, amelynek hazánkban kísérleti gyártása folyik.

A hulladéküveget megőrlik, granulálják, felületképző anyaggal vonják be, majd 800-1000 °C hőmérsékleten forgócsöves kemencében kiégetik. Szemnagysága általában 1-25 mm. Az eddigi kutatási eredmények szerint alkáli reakcióra nem érzékeny, káros összetevőket nem tartalmaz. Hazánkban kísérleti gyártás folyt (*Nemes R. – Gyömbér Cs.* 2001).

Polisztirol gyöngy. A polisztirol gyöngy duzzasztott termék, amelynek alapanyaga a kőolajból előállított, finomszemű, polimerizált, hajtógázzal adagolt sztirol, amely habosítása során eredeti térfogatának 20-50-szeresére duzzad. Az így létrejött gyöngy cellaszerkezete zárt, szemnagysága 0,5-4,0 mm, halmazsűrűsége 15-35 kg/m^3. Felhasználható padlók, födémek, tetők hőszigetelő betonjának, vagy hőszigetelő habarcsok könnyű adalékanyagaként. Magyarországon is gyártják.

50. táblázat: Néhány könnyű adalékanyag jellemző tulajdonsága

Tulajdonság	Tufa	Duzzasztott agyagkavics	Duzzasztott perlit	Zúzott tégla	Duzzasztott üvegkavics
Anyagsűrűség, kg/m^3	2500-2800	2500-2600			2050-2450
Testsűrűség, kg/m^3	1200 - 2500	650-1600		1950-2150	300-1450
Halmazsűrűség, kg/m^3		300-800	50-180	980-1250	180-900
Porozitás, térfogat%	15-50	45-75			35-85
Vízfelvétel, tömeg%	2-25	20-50		15-25	1-60
Nyomószilárdság, önszilárdság	6-80 N/mm^2 (Nyomó-szilárdság szabályos alakú próbatesten mérve)	1,5-10,5 N/mm^2 (20 mm-es össze-nyomódáshoz tartozó önszilárdság)		1,2-2,8 (*Hummel*-féle szétmorzso-lódási tényező, *Hummel* 1954)	0,5-13,0 N/mm^2 (20 mm-es össze-nyomódáshoz tartozó önszilárdság)
Megjegyzés: Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a könnyű adalékanyag szemeinek a testsűrűsége (110 ± 5) °C hőmérsékleten, tömegállandóságig kiszárított állapotban legfeljebb 2000 kg/m^3, és a halmazsűrűsége ugyanígy kiszárított és laza állapotban legfeljebb 1200 kg/m^3.					
A könnyű adalékanyag felhasználásával készült könnyűbeton					
Könnyűbeton testsűrűsége, kg/m^3	1300-2250	800-1800	200-750	1800-1900	600-1800
Könnyűbeton nyomó-szilárdsága, N/mm^2	5-40	8-45	0,2-3,5	12-25	2-45
Megjegyzés: Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a könnyűbeton testsűrűsége 28 napos korban, (60 ± 5) °C hőmérsékleten, tömegállandóságig kiszárított állapotban (800-2000) kg/m^3.					

Fagyapot, faforgács. A fagyapot 200-500 mm hosszú, 0,5-5 mm széles, 0,03-0,5 mm vastag, a faforgács 30-400 mm hosszú, 20-30 mm széles, max. 15 mm vastag, vegyszeres kezeléssel

tartósított rostos faanyag, amelyből cement-kötéssel kis testsűrűségű, hőszigetelő tulajdonságú, ún. fabetont lehet előállítani. A cementkötésű fagyapotlap (például Heraklith) testsűrűsége 380-480 kg/m^3, a cementkötésű faforgácslapé (például Durisol) 500-600 kg/m^3. A fabeton lemezekből hő-, és hangszigetelő réteget, zsaluzatot, térhatároló lapot szoktak készíteni. A fabeton termékeket Magyarországon is gyártják.

Néhány könnyű adalékanyag jellemző tulajdonságát az *50. táblázatban* tüntettük fel.

19.1.4. Bontott, újrahasznosított adalékanyag

A régi épületek és szerkezetek, út- és egyéb pályaburkolatok bontási hulladékát (törmelékét) és az építési, valamint az építőanyag-gyártási hulladékot kellő fizikai feldolgozás után, anyagszerkezeti (kémiai) átalakítás nélkül, beton-adalékanyagként újra fel lehet használni. Az újrahasznosítás elve, hogy az újrahasznosított adalékanyagú beton tulajdonságai – hangsúlyosan beleértve a tartósságot is – éppen olyan jók legyenek, mintha a beton újrahasznosított adalékanyag nélkül készült volna.

A bontott hulladékot építőanyag fajtánként kell feldolgozni. A feldolgozást mobil gépsoron vagy telepített üzemben szokták végezni. A *mobil gépsor* anyagfogadó bunkerébe a bontott törmeléket általában hidraulikus törőfejjel is ellátott rakodógéppel szállítják. A mobil gépsor előosztályozóból, pofás előtörőből és általában a kihordó szalaghoz illesztett vastalanítóból áll. Az előosztályozásnál kiosztályozott finom anyagot szállítószalaggal oldalra hordják, az nem kerül az előtörőre. Az előtört és betonvasaktól megtisztított bontott anyagot rakodógéppel vagy szállítószalaggal osztályozó berendezésre juttatják, amely a hulladékot a betontechnológiában szokásos adalékanyag frakciókra bontja *Telepített üzemben* a könnyű szennyezőket (például papírt) szélosztályozóval szokták eltávolítani, a szemnagyság szerinti osztályozáshoz pedig vizes osztályozót alkalmaznak (mosott frakciók). Az osztályozott, illetve osztályozott és mosott frakciókat a tárolótéren minden esetben egymástól elkülönítve kell elhelyezni (*Balázs L. Gy. – Kausay* 2007).

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 betonadalékanyag szabvány és az MSZ EN 13055-1:2003 szerint az olyan adalékanyagokat, mint például a bontott adalékanyagok, amelyek alkalmazására nincs kellő tapasztalat, gondosan meg kell vizsgálni, és kedvező vizsgálati eredmény esetén is szükség lehet a mindenkori alkalmazási területre vonatkozó külön szabályozásra. A szabvány az építési termékekre vonatkozó európai „új jogi keret”-nek megfelelően az „alapvető” követelmények teljesülésének feltételeit tárgyaló ZA.1 mellékletben megjegyzi, hogy az érvénye alá tartozó valamennyi adalékanyag követelmény-rendszere további követelményekkel kiegészíthető, például az európai szabvánnyal együtt érvényes nemzeti előírás alakjában. Magyarországon az európai betonadalékanyag szabványnak nemzeti alkalmazási dokumentuma nincs, de van a bontott, újrahasznosított adalékanyagok alkalmazásának feltételeit tárgyaló, a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata által készített beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv (BV-MI 01:2005) és a MAÚT útügyi műszaki előírása (e-UT 05.02.31:2008). Ezek a magyar dokumentumok összhangban vannak az osztrák felfogással (ÖBRV-Richtlinie:2009), amely szerint az újrahasznosított (másodlagos) adalékanyagok minősége nem maradhat el az elsődleges (nem újrahasznosított) adalékanyagok minősége mögött.

A bontott adalékanyag (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig kiszárított állapotban meghatározott testsűrűsége vagy ugyan így kiszárított és laza állapotban mért halmazsűrűsége alapján közönséges (normál) adalékanyag vagy könnyű-adalékanyag, és a szilárd, kiszárított, 28 napos korú beton testsűrűsége alapján közönséges beton vagy könnyűbeton adalékanyaga lehet. A bontott adalékanyag közönséges adalékanyag, ha a testsűrűsége > 2000 kg/m^3 és

< 3000 kg/m^3, és könnyű-adalékanyag, ha a testsűrűsége ≤ 2000 kg/m^3 vagy halmazsűrűsége ≤ 1200 kg/m^3.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 betonadalékanyag szabvány 21. táblázata szerint az újrahasznosított betonadalékanyag összetétel alapján öt csoportba sorolható, amelyekben a betonhulladék részaránya legalább 90 (jele Rc_{90}), legalább 80 (jele Rc_{80}), legalább 70 (jele: Rc_{70}), legalább 50 (jele: Rc_{50}) tömeg% vagy ennél kevesebb (jele Rc_{megadott}). Az újrahasznosított közönséges (testsűrűsége > 2000 kg/m^3) durva adalékanyag szemrevételezés alapján történő csoportosítását az MSZ EN 933-11:2009 szabvány szerint kell végezni.

Újrahasznosított betonadalékanyagként legelterjedtebben a beton, a vegyes (beton és tégla), és a tégla hulladékot használják fel. Ezek csoportba sorolása a bontott hulladék 4 mm feletti szemnagyságú szemeinek építőanyagok szerinti összetétele alapján az BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint könyvünk *51. táblázatának*, illetve *45. ábrájának* megfelelően történhet.

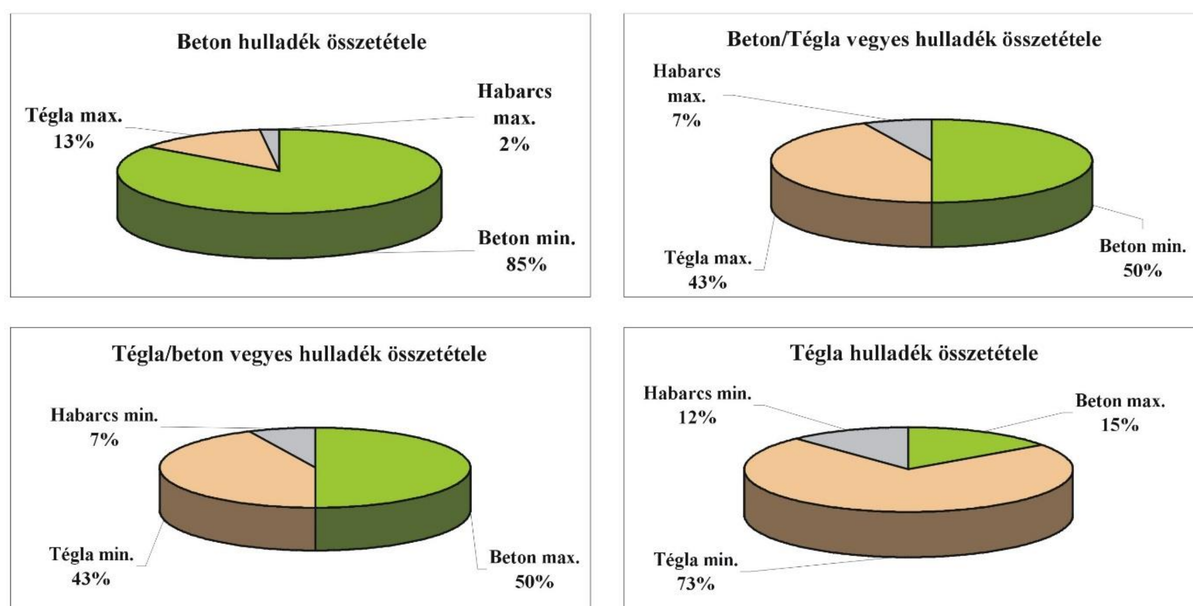
A bontott adalékanyaggal készített beton közönséges beton, ha a testsűrűsége 28 napos korban (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig kiszárított állapotban > 2000 kg/m^3 és ≤ 2600 kg/m^3, és könnyűbeton, ha a testsűrűsége ugyan így kiszárított állapotban 28 napos korban ≥ 800 kg/m^3 és ≤ 2000 kg/m^3.

A sűrűségi jellemzők alapján a *beton hulladék (törmelék)* általában közönséges adalékanyagnak, a *beton-tégla vegyes hulladék* várhatón könnyű adalékanyagnak, a *tégla-beton vegyes hulladék* és a *tégla hulladék* többnyire könnyű adalékanyagnak minősül. Ez a megkülönböztetés az újrahasznosított beton tervezése szempontjából is fontos.

51. táblázat: Az újrahasznosított adalékanyagok csoportba sorolása összetétel alapján a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint

Bontott, újrahasznosított adalékanyagok csoport beosztása az építőanyagok szerinti összetétel alapján	Beton szemek	Tégla szemek	Habarcs szemek
	aránya a bontott hulladék 4 mm szemnagyság feletti tartományában, tömeg%		
Beton hulladék	85 - 100	0 - 13	0 - 2
Beton-tégla vegyes hulladék	50 - 85	13 - 43	2 - 7
Tégla-beton vegyes hulladék	15 - 50	43 - 73	7 - 12
Tégla hulladék	0 - 15	73 - 86	12 - 14
Például vegyes tégla/betonhulladék esetén:			
ha: $b_1 = 15$, $t_2 = 73$, $h_2 = 12$		akkor: $b_1 + t_2 + h_2 = 100$	
ha: $b_2 = 50$, $t_1 = 43$, $h_1 = 7$		akkor: $b_2 + t_1 + h_1 = 100$	
ha: $t_1 = 43$		akkor: $h_1 = t_1/6 \approx 7$	

Az e-UT 05.02.31:2008 útügyi műszaki előírás szerint az út- és pályabetonban újrahasznosítható építési és bontási hulladék adalékanyag 4 mm szemnagyságnál nagyobb szemeinek legalább 95 tömeg%-a betonszem legyen és a szemek testsűrűsége (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig kiszárított állapotban 2000 és 3000 kg/m^3 közé essék. Az útpályaszerkezet bontásából származó újrahasznosított betonhulladékban az aszfalttartalom általában legfeljebb 2 tömeg% lehet, de a pályabeton alaprétegébe a betonhulladék 10 tömeg% aszfalttartalomig beépíthető. Újrahasznosított, vasalás nélküli út- és pályabeton esetén az újrahasznosított adalékanyag alkalmazását annak kloridion-tartalmától nem kell függővé tenni, mert az acél kapcsolati elemeket a korróziótól műanyag bevonattal védik.



45. ábra: Az újrahasznosított adalékanyagok csoportba sorolása összetételük alapján a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint

A sikeres betontervezéshez meg kell határozni a bontott, újrahasznosított adalékanyag építőanyagok szerinti összetételét, idegen anyag tartalmát szemrevételezéssel, testsűrűségét (MSZ EN 1097-6:2001), halmazsűrűségét (MSZ EN 1097-3:2000), vízfelvételét (MSZ EN 1097-6:2001), látszólagos porozitását, fagy- és olvasztósó-állóságát (MSZ EN 1367-1:2007), szemmegoszlását (MSZ EN 933-1:2012), finomsági modulusát (MSZ 18288-5:1981), szemalakját tolómérővel (MSZ EN 933-4:2008), réses rostával (MSZ EN 933-3:1997/A1:2004), illetve kifolyási tölcsérrel mérve (MSZ 18288-3:1978), vízoldható szulfátion-tartalmát (MSZ EN 1744-1:2010) és savoldható kloridion-tartalmát (MSZ EN 1744-5:2007, DIN 4226-100:2002 szabvány E melléklete), a kloridion-tartalmat csak akkor, ha az újrahasznosított adalékanyagot vasbetonba építik be.

A vizes osztályozással, mosással előkészített újrahasznosított betonadalékanyag agyag- és iszaptartalma (0,02 mm alatti szemek mennyisége) általában elhanyagolható, ezért vizsgálata sem szükséges.

Újrahasznosított könnyű adalékanyag (MSZ EN 13055-1:2003) esetén a halmaz-szilárdságot (MSZ EN 13055-1:2003 szabvány A melléklete) is meg kell határozni.

Újrahasznosított közönséges betonadalékanyag esetén a *kőzetfizikai csoportba* soroláshoz (BV-MI 01:2005, e-UT 05.02.31:2008) ismerni kell a Los Angeles (MSZ EN 1097-2:2010), a mikro-Deval (MSZ EN 1097-1:1998) aprózódást, és a kőzetfizikai csoportba sorolást a *61. táblázat* alapján kell elvégezni.

Eltérően a zúzottkövektől, a bontási betonhulladékból újrahasznosított betonadalékanyag *fagy- és olvasztósó-állósága* magnézium-szulfátos (vagy például nátrium-szulfátos) kristályosítási vizsgálattal nem, csak közvetlen fagyállóság vizsgálattal ítélhető meg. A telített vizsgálati szulfát oldat hatására ugyanis a bontott beton cementköve szabad kalcium-hidroxidjának felhasználásával gipsz, vagy a trikalcium-aluminát-hidrátból másodlagos ettringit képződhet. Ezek repesztő ereje igen nagy. Ha az átalakulás a magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat ideje alatt megkezdődik, akkor a vizsgálati eredmény a fagyállóságon kívül a bontott beton szulfátállóságának is jellemzője, és ezért a magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat az újrahasznosított betonadalékanyag tekintetében szigorúbb, mint a

természetes adalékanyagok (például zúzottkövek) esetén, és nem feltétlenül az újrahasznosított betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állóságáról ad felvilágosítást.

Az újrahasznosított betonadalékanyag fagyállóságát az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány szerint lehet meghatározni, azzal az eltéréssel, hogy a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma nem 10, hanem 25, 35 vagy 50. A vizsgálat során a légköri nyomáson vízzel telített adalékanyag mintát desztillált vagy ioncserélt vízben, (-17,5 ± 2,5) °C hőmérsékleten előírt ideig kell fagyasztani, majd (+20 ± 3) °C hőmérsékleten fel kell olvasztani, és ezt a ciklus számnak megfelelően meg kell ismételni. Az újrahasznosított betonadalékanyagot az MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyasztási tömegveszteség függvényében kell kőzetfizikai csoportba sorolni.

Ha az újrahasznosított betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állóságát kell meghatározni, akkor az MSZ EN 1367-6:2009 szabvány szerint kell a vizsgálatot elvégezni légköri nyomáson nátrium-klorid oldattal telített adalékanyag mintán, de a szabvány előírásától eltérően nem 1 %-os, hanem 3 %-os nátrium-klorid oldatban, szintén 25, 35 vagy 50 ciklusos fagyasztással. Ebben az esetben az újrahasznosított betonadalékanyagot az MSZ EN 1367-6:2009 szerinti fagyasztási tömegveszteség függvényében kell kőzetfizikai csoportba sorolni. Betonhulladék esetén erre a vizsgálatra feltehetőleg ritkán, csak akkor kerül sor, ha az újrahasznosított betont XF2 vagy XF4 környezeti osztályú szerkezetbe építik be, amit – mint láttuk – a németek nem engednek meg, az osztrákoknál pedig a betonhulladék alkalmazása a C12/15 feletti nyomószilárdsági osztályú betonba szóba sem jöhet.

Megjegyzendő, az újrahasznosított betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állóságát – hasonlóan a zúzottkő és zúzottkavics vizsgálatához – alternatív módon betonban is lehet vizsgálni úgy, hogy az újrahasznosított beton fagy- és olvasztósó-állóságát határozzuk meg az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány valamelyik módszerével, közvetlen fagyasztással. Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban a *peremes hámlasztás* referencia módszere és a *bemerítéses leválási, illetve kapilláris felszívásos hámlasztás* alternatív módszere található. A háromféle vizsgálat módszer mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazható (*Balázs L. – Kausay* 2008-2009).

Ha a bontott adalékanyag minősége a gondos feldolgozás ellenére sem felel meg a vonatkozó európai adalékanyag szabvány, valamint a magyar előírások követelményének vagy közönséges beton, illetve könnyűbeton készítés céljára nem alkalmas, akkor a tulajdonságainak javítását természetes adalékanyag, például homok, kavics, zúzottkő, zúzottkavics, vagy mesterséges (de új) adalékanyag, például agyagkavics hozzákeverésével meg lehet kísérelni.

Az újrahasznosított adalékanyag frakció jele (megnevezése) tartalmazza:

- a hulladéknak a megnevezését a frakció építőanyagok szerinti összetétele alapján, például: bontási betonhulladék;
- az újrahasznosított adalékanyag kőzetfizikai csoportjának jelét a Los Angeles aprózódási, a mikro-Deval aprózódási és a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat eredménye alapján, például: $Kf_{ú}$-B^{a};
- az újrahasznosított adalékanyag szemnagyságának jelét, például: 8/16 mm;
- a szemnagyság osztályának a jelét, például: $G_{C}80/15$;
- az újrahasznosított adalékanyag szemalakjának jelét, például: SI_{20};
- a szemek felületéről lemosható vízoldható szulfátion-tartalom SO_4-ben kifejezett mennyiségének a jelét, például: $SS_{0,2}$;
- a savoldható kloridion-tartalom jelét, ha az újrahasznosított adalékanyagot vasbetonba építik be, például $AC\ell_{0,04}$;
- a szabvány és az útügyi műszaki előírás jelét, amelynek alapján gyártották.

Például annak az osztályozott bontási betonhulladék frakciónak a jele, amelyben a beton szemek aránya 85-100 tömeg%; amelyből előállított vizsgálati minta alternatív-vizsgálattal

meghatározott kőzetfizikai csoportja $Kf_{ú}$-B^a; amelynek szemnagysága 8/16 mm; amelynek szemnagyság szerint osztálya (amelyben a számjel az osztályozás élességére utal) $G_C80/15$ és megnevezése durva frakció; amelyben a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 20 tömeg%, a szemek felületéről lemosható vízoldható szulfátion-tartalma SO_4-ben kifejezve $SS_{0,2} \leq 0,2$ tömeg%, a savoldható kloridion-tartalom $AC\ell_{0,04} \leq 0,04$ tömeg% (csak ha az újrahasznosított adalékanyagot vasbetonba építik be), és az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 európai szabvány és az e-UT 05.02.31:2008 útügyi műszaki előírás szerint gyártják, a következő:

Bontási betonhulladék – $Kf_{ú}$-B^a – 8/16 mm – $G_C80/15$ – SI_{20} – $SS_{0,2}$ – $AC\ell_{0,04}$ – MSZ EN 12620 – e-UT 05.02.31

19.2. BETONADALÉKANYAGOK TERMÉKMINŐSÍTŐ TULAJDONSÁGAI

A betonadalékanyagok termékminősítő tulajdonságait az európai szabványok geometriai, fizikai, kémiai, tartóssági csoportokba sorolva írják le. Az *52. táblázat* azokat a legfontosabb tulajdonságokat és vizsgálati módszereket foglalja össze, amelyeknek a kőanyaghalmazok betonadalékanyagkénti alkalmazásában – nemzeti sajátságainkat is figyelembe véve – általában termékminősítő vagy betontechnológiai szerepe van.

19.2.1. Testsűrűség és halmazsűrűség

A betonadalékanyagot (110 ± 5) °C hőmérsékleten, tömegállandóságig kiszárított állapotban meghatározott testsűrűsége, illetve laza állapotban mért halmazsűrűsége alapján csoportosítják. A nehéz adalékanyag testsűrűsége ≥ 3000 kg/m^3, a közönséges adalékanyag testsűrűsége > 2000 kg/m^3 és < 3000 kg/m^3, a könnyű adalékanyag testsűrűsége ≤ 2000 kg/m^3 és halmazsűrűsége ≤ 1200 kg/m^3. Beton anyagú újrahasznosított adalékanyag esetén a szárítást (60 ± 5) °C hőmérsékleten kell végezni. A testsűrűséget az MSZ EN 1097-6:2001, a halmazsűrűséget az MSZ EN 1097-3:2000 szabvány szerint kell meghatározni.

19.2.2. Vízfelvétel

Az adalékanyag vízfelvételét – nevezik vízfelvevőképességnek is – az MSZ EN 1097-6:2001 szabvány szerint kell megvizsgálni. A vízfelvétel meghatározása különösen a finomszemek, a könnyű adalékanyagok és az újrahasznosított adalékanyagok esetén fontos.

19.2.3. Szemnagyság

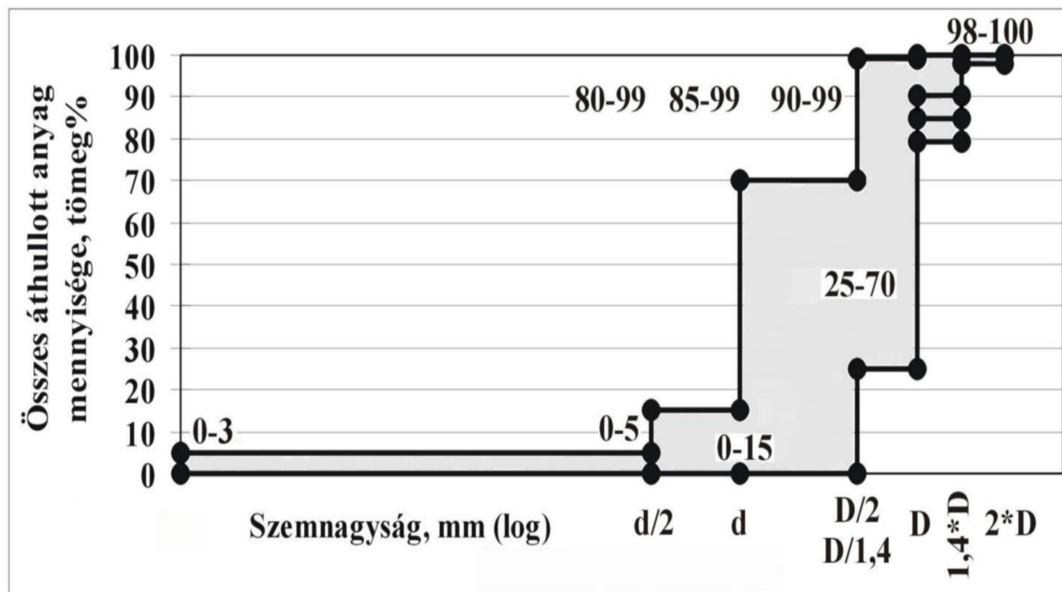
19.2.3.1. Betonadalékanyag frakciók (termékek) szemnagysága

A betonadalékanyag frakciók osztályozott, a homok, kavics, homokos kavics esetén rendszerint mosott és osztályozott, zúzottkő és újrahasznosított adalékanyag esetén tört és osztályozott termékek, amelyek szemnagyságát az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány szerint a névleges legkisebb (d) és a névleges legnagyobb (D) szemnagysággal, valamint a D ellenőrző szitákon áthullott megkövetelt legkisebb, és a d ellenőrző szitán áthullott megengedett legnagyobb tömeg%-kal jelölik. Például a „4/8 kavics $G_C80/15$” jel olyan 4-8 mm névleges szemnagyságú osztályozott kavics frakciót jelent, amelynek a D ellenőrző szitán áthullott megkövetelt legkisebb mennyisége 80 tömeg%, és a d ellenőrző szitán áthullott megengedett legnagyobb mennyisége 15 tömeg%. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány átveszi e követelményeket és jelöléseket, és magyar megnevezésekkel ellátva rendszerbe foglalja. (*53. táblázat*).

52. táblázat: A betonadalékanyagok termékminősítő tulajdonságai

Tulajdonság	Vizsgálati szabvány	Homok	Kavics	Zúzottkő	Könnyű adalék-anyag	Újra haszno-sított adalék-anyag
		Homokos kavics				
Testsűrűség	MSZ EN 1097-6	**XX**	**XX**	**XX**	**XX**	**XX**
Halmazsűrűség	MSZ EN 1097-3				**XX**	**XX**
Vízfelvétel	MSZ EN 1097-6	**X**		**X**	**X**	**XX**
Szemmeg-oszlás	MSZ EN 933-1 MSZ 4798-1 MSZ 18288-5	**XX**	**XX**	**XX**	**X**	**XX**
Szemalak, ha $D > 4$ mm	MSZ EN 933-3 MSZ EN 933-4			**XX**	**XX**	**XX**
Szemalak, ha $D \le 4$ mm	MSZ EN 933-6 MSZ 18288-3 3. fejezet	**X**		**X**	**X**	**X**
Halmaz-szilárdság	MSZ EN 13055-1 A melléklet				**X**	**XX**
Los Angeles aprózódás	MSZ EN 1097-2 MSZ 18287-1			**XX**		**XX**
Mikro-Deval aprózódás	MSZ EN 1097-1 MSZ 18287-6			**XX**		**XX**
Magnézium-szulfátos aprózódás	MSZ EN 1367-2 MSZ 18289-3			**XX**		
Fagyállóság	MSZ EN 13055-1 C melléklet				**X**	**XX**
Agyag-iszaptartalom	MSZ 18288-2	**XX**	**XX**			
Agyagrög-tart.	Szemrevételezés	**XX**	**XX**			**XX**
Vízoldható kloridion-tartalom*	MSZ EN 1744-1 7-9. szakasz	**XX**	**XX**		**XX**	**XX**
Vízoldható szulfátion-tartalom	MSZ EN 1744-1 10. fejezet	**XX**	**XX**		**XX**	**XX**
Szerves (humusz) szennyeződés	MSZ EN 1744-1 15.1. szakasz	**X**	**X**	**X**	**X**	**XX**
Pirit szennyeződés	MSZ EN 1744-1 14.1. szakasz	**Y**	**Y**	**Y**	**X**	
Alkáli szilikát reakció	MSZ 4798-1 MSZ EN 12620 MSZ EN 13055-1 MSZ CR 1901	**Y**	**Y**			**Y**
Alkáli dolomit reakció	MSZ 4798-1 MSZ EN 13055-1			**Y**		
Jelmagyarázat:	*d* = névleges legkisebb szemnagyság *D* = névleges legnagyobb szemnagyság **XX** = termékminősítő vizsgálat, amelyre van követelmény **X** = általában elvégzendő vizsgálat, amelyre nincs követelmény érték **Y** = gyanú esetén elvégzendő vizsgálat * Csak, ha az újrahasznosított adalékanyagot vasbeton szerkezetbe építik be					

Osztályozott adalékanyag frakció szemmegoszlásának MSZ EN 12620:2002+A1:2008 és MSZ 4798-1 :2004 szabvány szerinti követelménye az *53. táblázat* alapján általánosságban kifejezhető a frakció szabványos felső szitamérete (*D*) és szabványos alsó szitamérete (*d*) függvényében (*46. ábra*).



46. ábra: Vázlat az osztályozott adalékanyag frakció szemmegoszlásának MSZ EN 12620:2002+A1:2008 és MSZ 4798-1 :2004 szabvány szerinti követelményére a frakció névleges legnagyobb (*D*) és névleges legkisebb (*d*) szemnagyságának függvényében

Az e-UT 05.01.14:2009 zúzott betonadalékanyag útügyi műszaki előírás az aszfaltútépítőipar – mint legnagyobb zúzottkő felhasználónak – igényének megfelelően a zúzottkő és zúzottkavics frakciók szemnagysághatáraként az MSZ EN 13043:2003, MSZ EN 13242:2002+A1:2008, MSZ EN 13285:2011 szabványokban – és MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabványban is – szereplő, és az aszfaltútépítésben használatos ún. „alap + 1 kiegészítő szitasorozat"-ot (benne a 5,6; 11,2; 22,4; 45,0 mm nyílású szitákkal) használja, amely követelményhez a kőbányaipar általában alkalmazkodik, és ezt – a termék minőségre vonatkozólag – a betonútépítőipar is kénytelen tudomásul venni. Ugyanakkor az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a betontechnológiában a hazai hagyományoknak megfelelően a felező sziták lyukbősége továbbra is 12, 24, 48 mm.

Ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció (termék) szemnagysághatára az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat" szerinti, akkor a legfontosabb 4 mm szemnagyság feletti, *53. táblázat* szerinti szemnagyságú zúzottkő betonadalékanyag frakciók az e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás szerinti zúzott betonadalékanyag termékkel az *54. táblázat* szerint tekinthetők közel azonosnak, illetve az *54. táblázat* szerinti zúzottkő termékek kombinálásával állíthatók elő.

Az e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás szerinti szemszerkezeti (szemnagyság, szemalak, tört szemek mennyisége) követelmények KZ jelű zúzottkő termékek esetére az *55. táblázatban*, az NZ jelű zúzottkő termékek esetére az *56. táblázatban*, a Z jelű zúzottkő termékek esetére az *57. táblázatban*, az ZK jelű zúzottkavics termékek esetére az *58. táblázatban* találhatók.

53. táblázat: Betonadalékanyag frakciók (termékek) szemnagysága (MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.1. táblázata szerint)

Megnevezés és osztály	Névleges szemnagysághatár			Ellenőrző szita		Példa mm/mm
	Legkisebb (*d*)	Legnagyobb (*D*)	Feltétel	Szitanyílás mm	Áthullott anyag tömeg%-a	
	szemnagyság, mm					
Homok, finom zúzottkő, könnyű és újrahasznosított adalékanyag G_F85	$d = 0$	$D \leq 4$	–	0,063 $D/4$ $D/2$ D $1,4 \cdot D$ $2 \cdot D$	0-10 [a)]; 0-5 [b)] 0-3 [c)] 20 – 60 50 – 90 85 – 99 95 – 100 100	0/1 [a)] 0/2 [b)] 0/4 [c)]
Homok, finom zúzottkő, könnyű és újrahasznosított adalékanyag frakció $G_F85/20$	$d > 0$	$D = 4$	–	0,063 $d/2$ d D $1,4 \cdot D$ $2 \cdot D$	0 - 3 0 – 10 0 – 20 85 – 99 95 – 100 100	1/4 2/4
Természetes szemmegoszlású homokos kavics $G_{NG}90$	$d = 0$	$D = 8$	$D/d \leq 4$	$D/2$ D 1,4xD 2xD	25 – 70 90 – 99 98 – 100 100	0/8
Homokos kavics, zúzottkő, könnyű és újrahasznosított adalékanyag frakció $G_C85/20$	$d = 2$	$4 < D$ $\leq 11,2$ (12) [d)]	Szűk frakció $D/d \leq 6$	0,063 $d/2$ d $D/1,4$ D $1,4 \cdot D$ $2 \cdot D$	0 - 3 0 – 5 0 – 20 25 – 70 85 – 99 98 – 100 100	2/8 2/12
Homokos kavics, zúzottkő, könnyű és újrahasznosított adalékanyag frakció $G_C90/15$	$d = 2$	11,2 (12) [d)] $< D \leq 20$	Nyújtott frakció $6 < D/d$ ≤ 10	0,063 $d/2$ d $D/2$ D $1,4 \cdot D$ $2 \cdot D$	0 – 3 0 – 5 0 – 15 25 – 70 90 – 99 98 – 100 100	2/16 2/20
Kavics, zúzottkő, könnyű és újrahasznosított adalékanyag frakció $G_C80/15$	$d \geq 4$	$D \geq 8$	Szűk frakció $D/d \leq 2$	0,063 $d/2$ d $D/1,4$ D $1,4 \cdot D$ $2 \cdot D$	0 – 3 0 – 5 0 – 15 25 – 70 80 – 99 98 – 100 100	4/8 8/16 16/32

Az 53. táblázat folytatódik

Az 53. táblázat folytatása

Megnevezés és osztály	Szemnagysághatár			Ellenőrző szita		Példa mm/mm
	Legkisebb (d)	Legnagyobb (D)	Feltétel	Szitanyílás mm	Áthullott anyag tömeg%-a	
	szemnagyság, mm					
Kavics, zúzottkő, könnyű és újrahasznosított adalékanyag frakció $G_C85/15$	$d \geq 4$	$D > 8$	Nyújtott frakció $D/d > 2$	0,063 $d/2$ d $D/2$ D $1,4 \cdot D$ $2 \cdot D$	0 – 3 0 – 5 0 – 15 25 – 70 85 – 99 98 – 100 100	4/16 8/24 8/32

[a), b), c)] A 0/1; 0/2; 0/4 mm szemnagyságú anyag 0,063 mm nyílású szitán áthulló megfelelő megengedett tömegszázaléka.
[d)] Magyarországon szabad a zárójelben feltüntetett nyílású szitát használni.

54. táblázat: MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti zúzottkő betonadalékanyag frakciók előállítása az e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás szerinti zúzottkő betonadalékanyag termékekből

Adalékanyag frakció szemnagysága az *53. táblázat* szerint mm	Zúzottkő termék jele az e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás szerint
4/8	KZ 4/8
8/12	azonosnak vehető a KZ 8/11 jelű zúzottkő termékkel
8/16	KZ 8/11 + KZ11/16
8/20	azonosnak vehető a KZ 8/11 + KZ 11/16 + KZ 16/22 jelű, vagy a KZ 8/11 + NZ 11/22 jelű zúzottkő termékek kombinációjával
16/20	azonosnak vehető a KZ 16/22 jelű zúzottkő termékkel
16/24	azonosnak vehető a KZ 16/22 jelű zúzottkő termékkel
16/32	KZ 16/22 + KZ 22/32

55. táblázat: KZ jelű zúzottkő termékek szemszerkezeti követelményei (e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás 1. táblázata szerint)

Szemszerkezeti jellemzők	KZ 2/4	KZ 4/8	KZ 8/11	KZ 11/16	KZ 16/22	KZ 22/32
	$G_c85/20$		$G_c90/15$			
	$f_{1.5}$	$f_{1.5}$; FI_{20}	$f_{1.5}$; FI_{20}			$f_{1.5}$; FI_{35}
Szemmegoszlási jellemzők, tömeg%						
Felső méretet ellenőrző (2·D) szitán áthullott rész	100					
Felső méretet ellenőrző (1,4·D) szitán áthullott rész	98 – 100					
Felső (D) méreten áthullott rész	85-99		90-99			
D/1,4 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	–	35-65	–			
Alsó (d) méreten áthullott rész	0 – 20		0 – 15			
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szitán áthullott rész	0 – 5					
0,25 mm-nél kisebb rész	0 – 2					
0,063 mm-nél kisebb rész	0 – 1,5					
Ellenőrző sziták mérete, mm						
Felső méretet ellenőrző (2·D) szita	8	16	22,4	32	45	63
Felső méretet ellenőrző (~1,4·D) szita	5,6	11,2	16	22,4	32	45
D/1,4 közbenső ellenőrző szita	–	5,6	–			
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szita	1	2	4	5,6	8	11,2
Lemezes szemek mennyisége, tömeg%						
FI „lemezességi szám”, réses rostával meghatározva az MSZ EN 933-3 szerint	–	0 – 20				0 – 35

A d ≥ 4 mm termékek esetében a szemalakot az MSZ EN 933-4 szerinti vizsgálattal, az *SI* „szemalak tényező” mérésével is meg kell adni. Ha a gyártó és a vevő előzetesen írásban megállapodik, akkor a táblázatban szereplő követelmény értékek az *SI* „ szemalak tényező” tekintetében is érvényesek.

56. táblázat: NZ jelű zúzottkő termékek szemszerkezeti követelményei (e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás 2. táblázata szerint)

Szemszerkezeti jellemzők	NZ 0/2	NZ 0/4	NZ 4/11	NZ 11/22	NZ 22/32
	G_F85		$G_C90/15$		
	f_{10}		f_4; FI_{50}		
Szemmegoszlási jellemzők, tömeg%					
Felső méretet ellenőrző (2·D) szitán áthullott rész	100				
Felső méretet ellenőrző (1,4·D) szitán áthullott rész	95 – 100		98 – 100		
Felső (D) méreten áthullott rész	85 – 99		90 – 99		
D/1,4 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	–		35 – 65		–
D/2 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	30 – 70		–		
Alsó (d) méreten áthullott rész	–		0 – 15		
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szitán áthullott rész	–		0 – 5		
1,00 mm-nél kisebb rész	–	0 – 40	–		
0,25 mm-nél kisebb rész	0 – 30	0 – 20	0 – 4		
0,063 mm-nél kisebb rész	0 – 10	0 – 10	0 – 4		
Ha a finomszem-tartalom (0,063 mm-nél kisebb rész) 3 és 10 tömeg% közé esik, akkor a káros anyagok jelenlétének megállapítására az egyes agyagásvány típusok duzzadási hajlama miatt az MSZ EN 933-9 szerinti (metilénkék) vizsgálatot el kell végezni. A metilénkék vizsgálat eredményére követelmény nincs előírva.					
Ellenőrző sziták mérete, mm					
Felső méretet ellenőrző (2·D) szita	4	8	22,4	45	63
Felső méretet ellenőrző (~1,4·D) szita	–	5,6	16	32	45
D/1,4 közbenső ellenőrző szita	–		8	16	–
D/2 közbenső ellenőrző szita	1	2	-		
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szita	–		2	5,6	11,2
Lemezes szemek mennyisége, tömeg%					
FI „lemezességi szám”, réses rostával meghatározva az MSZ EN 933-3 szerint	–		0 – 50		
A d ≥ 4 mm termékek esetében a szemalakot az MSZ EN 933-4 szerinti vizsgálattal, az *SI* „szemalak tényező” mérésével is meg kell adni. Ha a gyártó és a vevő előzetesen írásban megállapodik, akkor a táblázatban szereplő követelmény értékek az *SI* „szemalak tényező” tekintetében is érvényesek.					

57. táblázat: Z jelű zúzottkő termékek szemszerkezeti követelményei (e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás 3. táblázata szerint)

Szemszerkezeti jellemzők	Z 0/4	Z 0/11	Z 0/22	Z 4/22	Z 0/32
	G_F85	G_A85			
	f_{10}	f_{10}; FI_{70}		f_4; FI_{70}	f_{10}; FI_{70}
Szemmegoszlási jellemzők, tömeg%					
Felső méretet ellenőrző (2·D) szitán áthullott rész	100				
Felső méretet ellenőrző (1,4·D) szitán áthullott rész	98 – 100				
Felső (D) méreten áthullott rész	85-99				
D/1,4 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	–			35 – 65	–
D/2 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	30 – 70				
Alsó (d) méreten áthullott rész	–			0 – 20	–
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szitán áthullott rész	–			0 – 16	–
0,25 mm-nél kisebb rész, legfeljebb	0 – 30	0 – 25		0 – 7	0 – 22
0,063 mm-nél kisebb rész, legfeljebb	0 – 10	0 – 11		0 – 4	0 – 11
Ha a finomszem-tartalom (0,063 mm-nél kisebb rész) 3 és 10 tömeg% közé esik, akkor a káros anyagok jelenlétének megállapítására (az egyes agyagásvány típusok duzzadási hajlama miatt) az MSZ EN 933-9 szerinti metilénkék vizsgálatot el kell végezni. A metilénkék vizsgálat eredményére követelmény nincs előírva.					
Ellenőrző sziták mérete, mm					
Felső méretet ellenőrző (2·D) szita	8	22,4	45		63
Felső méretet ellenőrző (~1,4·D) szita	5,6	16	32		45
D/1,4 közbenső ellenőrző szita	–			16	–
D/2 közbenső ellenőrző szita	2	5,6	11,2	–	16
Lemezes szemek mennyisége, tömeg%					
FI „lemezességi szám”, réses rostával meghatározva az MSZ EN 933-3 szerint	–	0 – 70			
A d ≥ 4 mm termékek esetében a szemalakot az MSZ EN 933-4 szerinti vizsgálattal, az *SI* „szemalak tényező” mérésével is meg kell adni. Ha a gyártó és a vevő előzetesen írásban megállapodik, akkor a táblázatban szereplő követelmény értékek az *SI* „szemalak tényező” tekintetében is érvényesek.					

58. táblázat: ZK jelű zúzottkavics termékek szemszerkezeti követelményei (e-UT 05.01.14:2009 útügyi műszaki előírás 4. táblázata szerint)

Szemszerkezeti jellemzők	A ZK jelű $C_{90/1}$ vagy $C_{megadott}$ zúzási osztályú zúzottkavics frakciók (termékek) jele					
	ZK 0/4	$ZK_{90/1}$ 4/8 vagy $ZK_{megadott}$ 4/8	$ZK_{90/1}$ 4/11 vagy $ZK_{megadott}$ 4/11	$ZK_{90/1}$ 8/11 vagy $ZK_{megadott}$ 8/11	$ZK_{90/1}$ 8/16 vagy $ZK_{megadott}$ 8/16	$ZK_{90/1}$ 11/22 vagy $ZK_{megadott}$ 11/22
	$G_{A\,85}$	$G_c85/15$				
	f_{10}	f_4; FI_{15}	f_4; FI_{25}	f_4; FI_{15}	f_4; FI_{15}	f_4; FI_{25}
		$C_{90/1}$ vagy $C_{megadott}$				
Szemmegoszlási jellemzők, tömeg%						
Felső méretet ellenőrző (2·D) szitán áthullott rész	100					
Felső méretet ellenőrző (1,4·D) szitán áthullott rész	98 – 100					
Felső (D) méreten áthullott rész	85 – 99	85 – 99				
D/1,4 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	–	35 – 65		–	35 – 65	
D/2 közbenső ellenőrző szitán áthullott rész	35 – 65	–				
Alsó (d) méreten áthullott rész	–	0 – 15				
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szitán áthullott rész	–	0 – 5				
0,25 mm-nél kisebb rész	0 – 20	0 – 4				
0,063 mm-nél kisebb rész	0 – 10	0 – 4				
Ha a finomszem-tartalom (0,063 mm-nél kisebb rész) 3 és 10 tömeg% közé esik, akkor a káros anyagok jelenlétének megállapítására (az egyes agyagásvány típusok duzzadási hajlama miatt) az MSZ EN 933-9 szerinti metilénkék vizsgálatot el kell végezni. A metilénkék vizsgálat eredményére követelmény nincs előírva.						

Az 58. táblázat folytatódik

Az 58. táblázat folytatása

Szemszerkezeti jellemzők	A ZK jelű $C_{90/1}$ vagy $C_{megadott}$ zúzási osztályú zúzottkavics frakciók (termékek) jele					
	ZK 0/4	$ZK_{90/1}$ 4/8 vagy $ZK_{megadott}$ 4/8	$ZK_{90/1}$ 4/11 vagy $ZK_{megadott}$ 4/11	$ZK_{90/1}$ 8/11 vagy $ZK_{megadott}$ 8/11	$ZK_{90/1}$ 8/16 vagy $ZK_{megadott}$ 8/16	$ZK_{90/1}$ 11/22 vagy $ZK_{megadott}$ 11/22
	G_{A} 85	$G_{c}85/15$				
	f_{10}	f_4; FI_{15}	f_4; FI_{25}	f_4; FI_{15}	f_4; FI_{15}	f_4; FI_{25}
		$C_{90/1}$ vagy $C_{megadott}$				
Ellenőrző sziták mérete, mm						
Felső méretet ellenőrző (2·D) szita	8	16	22,4		32	45
Felső méretet ellenőrző (~1,4·D) szita	5,6	11,2	16		22,4	32
D/1,4 közbenső ellenőrző szita	-	5,6	8	–	11,2	16
D/2 közbenső ellenőrző szita	2	–				
Alsó méretet ellenőrző (d/2) szita	–	2	2	4	4	5,6
Tört szemek mennyisége, tömeg%						
Teljesen és részben tört szemek mennyisége $C_{90/1}$ osztály esetén	–	90 – 100				
Teljesen gömbölyű szemek mennyisége $C_{90/1}$ osztály esetén	–	0 – 1				
Lemezes szemek mennyisége, tömeg%						
FI „lemezességi szám”, réses rostával meghatározva az MSZ EN 933-3 szerint	–	0 – 25				
A d ≥ 4 mm termékek esetében a szemalakot az MSZ EN 933-4 szerinti vizsgálattal, az *SI* „szemalak tényező” mérésével is meg kell adni. Ha a gyártó és a vevő előzetesen írásban megállapodik, akkor a táblázatban szereplő követelmény értékek az *SI* „szemalak tényező” tekintetében is érvényesek.						

Az *58. táblázat* szerint a 4 mm szemnagyság feletti zúzottkavicsban a teljesen és részben tört szemek mennyisége 90-100 tömeg% közé, a teljesen gömbölyű szemek mennyisége 0-1 tömeg% közé kell, hogy essék ($C_{90/1}$ osztály).

Ugyanez a követelmény szerepel a TL Beton-StB 07 (2007) német szállítási feltételekben azon kétrétegű betonburkolatok felső rétegébe beépítésre kerülő adalékanyagra, amely utakon a 10 tonnás tengelyek áthaladási számának egyenértéke legalább 3 millió (SV, I., II. és III. útépítési

osztály), azzal a megjegyzéssel, hogy a 8 mm feletti adalékanyagnak legalább az 50 tömeg%-a kell $C_{90/1}$ osztályú legyen, és a $C_{90/1}$ osztályú zúzott termékek az adalékanyag keveréknek legalább 35 tömeg%-át kell kitegyék.

19.2.3.2. Szitavizsgálat

Az MSZ EN 933-1:2012 szabvány szerinti szitavizsgálati módszer eltér a visszavont MSZ 18288-1:1991 szabvány szerinti eljárástól. Az új szabvány szerint az adalékanyag mintát (110 ± 5) °C hőmérsékleten ki kell szárítani, azután a 0,063 mm nyílású szita felett meg kell mosni, majd meg kell szárítani, hagyni kell lehűlni, és ezt követően kell a 0,063 és a 0,125 mm nyílású sziták nélkül a száraz szitálást, vagy azokkal együtt a vizes szitálást elvégezni. A szitálás előtt a mosóvízzel eltávozott finomrész mennyiségét a mosás előtti és utáni tömegmérésből ki kell számítani, és hozzá kell adni a szitáláskor a 0,063 mm nyílású szitán áthullott anyaghoz.

Az adalékanyag minta szitálása előtti kiszárítása során az agyag-iszap szemek összesülhetnek vagy rásülhetnek a kavics szemekre. Ilyen esetekben az MSZ EN 933-1:2012 szabvány B melléklete szerint kell eljárni, amelynek során a szitavizsgálatot kezdeti kiszárítás nélkül kell elvégezni, és egy párhuzamos mintán kell a kezdeti víztartalmat meghatározni, és azt a szitavizsgálat eredményének kiszámításakor kell figyelembe venni.

Az MSZ EN 933-1:2012 szabvány szerint a $D \geq 31{,}5$ mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyag minták előkészítését szitavizsgálatra a szabvány A melléklete szerinti alternatív módszerrel kell végezni. A kiszárítás előtt a mintát a 16 mm-es szita segítségével két részre kell osztani, majd azokat ki kell szárítani, meg kell mosni, majd újból ki kell szárítani és meg kell szitálni, végül a szitavizsgálati eredményeket részarány szerint halmozni kell.

Az MSZ EN 933-1:2012 szerint a szitavizsgálat vizsgálati adagjának tömege a legnagyobb szemnagyság függvénye (*59. táblázat*).

A visszavont MSZ 18288-1:1991 szabvány szerinti teljes (a 0,125 mm-nél kisebb szemek mennyiségének megállapítására is alkalmas), vizes (nedves) szitálási vizsgálathoz légszáraz vagy szikkasztott, de *nem kiszárított állapotú*, szobahőmérsékletű szemhalmazt kellett alkalmazni, és a vizes szitálás után az egyes szitákon fennmaradt részhalmazokat kellett a tömegmérés előtt kiszárítani. A legkisebb lyukbőségű szitán a mosóvízzel eltávozott anyag mennyiségét például a felfogott zagyból kellett meghatározni.

Történeti érdekesség, hogy *Abrams* (1918) az adalékanyag finomsági modulusának kiszámításához az amerikai *Tyler*-féle duplázódó szitasorozatot alkalmazta. A *Tyler*-féle szitaszövet rendszer kifejlesztése idején (1910) 42 különböző, egyenletesen növekvő lyukbőségű szitából állt. A legkisebb lyukbőség 0,0008 inch (~0,020 mm), a legnagyobb lyukbőség 1,0433 inch (~26,5 mm) volt (1 amerikai inch (≈ 25,4 mm). Valamely *Tyler*-féle szitaszövet lyukbősége a megelőző kisebb nyílású szita lyukbőségének a $\delta_{\text{Tyler}} = 1{,}1892071$-od szorosa. Minthogy $\delta_{\text{Tyler}} \approx \sqrt[4]{2}$, következik, hogy a *Tyler*-féle szitaszövet rendszerben valamely szitaszövet lyukbősége a rendszer megelőző negyedik tagja lyukbőségének a kétszerese. Így például az egymást követő 0,147 mm, 0,175 mm, 0,208 mm, 0,247 mm, 0,294 mm nyílású szitaszövet sorban a 0,294 (~0,3) mm lyukbőségű szita nyílása a megelőző negyedik 0,147 (~0,15) mm lyukbőségű szita nyílásának a kétszerese.

Bár *Abrams* óta az eredeti *Tyler*-féle szitanyílásokhoz képest a finomsági modulus számításához használt lyukbőségek módosultak, a duplázódó nyílású szitasort ma is sokszor *Tyler*-féle szitasorozatnak nevezzük.



47. ábra: Duplázódó lyukbőségű, hagyományos, ún. alap-szitasor

Az MSZ EN 933-1:2012 szerinti szitavizsgálathoz az MSZ EN 933-2:1998 szerinti szitákat kell használni, és így az egyébként szükséges szitákon kívül alkalmazni kell a nálunk is megszokott, hagyományos, ún. „alap" szitasort, amely a 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125 mm lyukbőségű szitákból áll (*47. ábra*), valamint szükség esetén az ISO 565:1990 szerinti R20-as sorozat tagjait is. Az R20 jelű sorozatba tartozó sziták használatával több európai termék és vizsgálati szabványban is találkozni lehet.

Az MSZ EN 933-2:1998 szerinti duplázódó alapsziták lényegében az ISO 565:1990 szabvány R20 jelű szitasorozatának minden hatodik tagjával illeszkednek. Ennek az a magyarázata, hogy amíg az ISO 565:1990 szabvány R20 jelű szitasorozatának nyílásai $1{,}122 = 10^{0{,}05} = 10^{1/20}$ arányban emelkednek (például: 8,0; 8,9; 10,0; 11,2; 14,1; 16,0), addig MSZ EN 933-2:1998 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány duplázódó szitanyílásai $2 = 10^{\lg 2} = 10^{0{,}30103} = 10^{6{,}0206/20} \sim 10^{6/20} = 10^{6\cdot(1/20)} = (10^{1/20})^6$ arányban emelkednek.

59. táblázat: Szitavizsgálat vizsgálati adagjának tömege

Legnagyobb szemnagyság mm	Közönséges adalékanyag vizsgálati adagjának tömege (legalább) kg	Könnyű adalékanyag vizsgálati adagjának térfogata (legalább) liter
90	80	–
32	10	2,1
16	2,6	1,7
8	0,6	0,8
≤ 4	0,2	0,3

Megjegyzés: 1. Más, 90 mm-nél kisebb, *D* legnagyobb szemnagyságú minta vizsgálati adagjának tömege (*M*) a táblázat adataiból az $M = (D/10)^2$ összefüggéssel interpolálható.
2. A 3000 kg/m^3 testsűrűségnél nagyobb ρ testsűrűségű adalékanyagok (nehéz adalékanyagok) vizsgálati adagjának tömegét a táblázatbeli adatból például ρ/2700 arányú szorzóval módosítai kell.

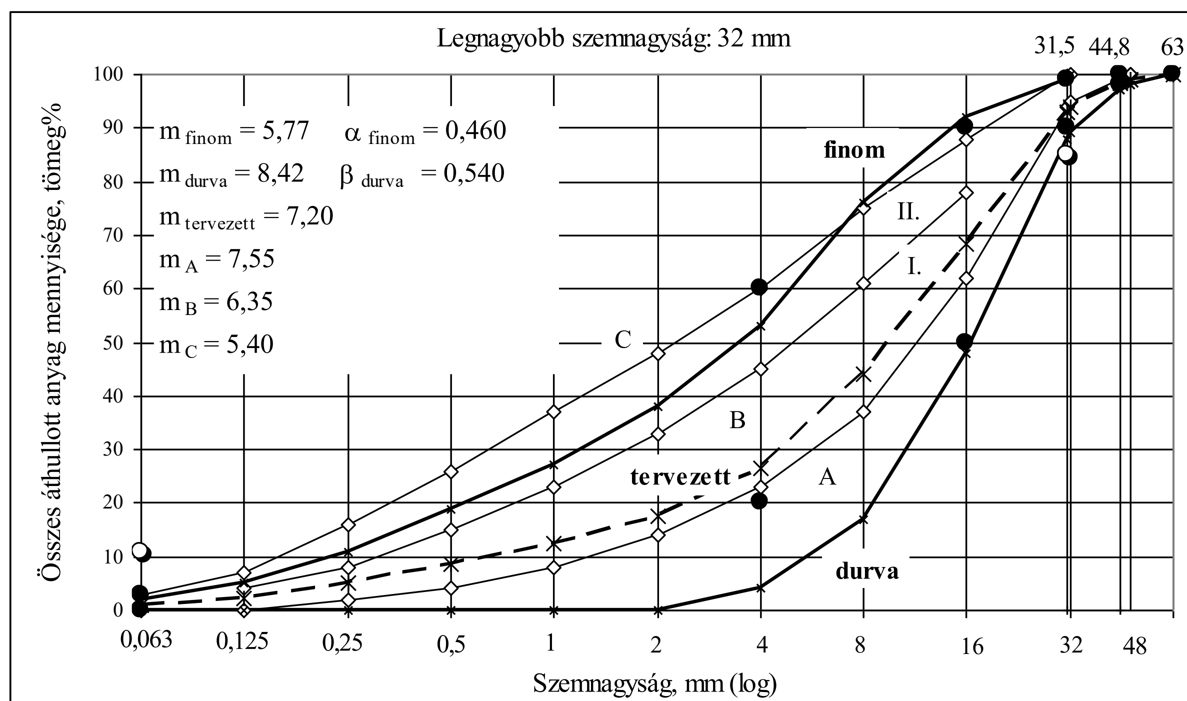
19.2.3.3. Számpélda az adalékanyag szemmegoszlásának összeállítására

A *60. táblázatban* számpéldát mutatunk be a szemmegoszlás összeállítására két frakcióból.

60. táblázat: Számpélda az adalékanyag szemmegoszlásának összeállítására két frakcióból

Szem-nagyság mm	a) szemhalmaz: 0,063/12 mm homokos kavics				b) szemhalmaz: 2/32 mm homokos kavics				Összes áthullott részmennyiség		Tervezett keverék	
	Fennmaradt anyag		ΣFennm	$\Sigma Áth_a$	Fennmaradt anyag		ΣFennm	$\Sigma Áth_b$	$\alpha \cdot \Sigma Áth_a$	$\beta \cdot \Sigma Áth_b$	ΣÁth.	ΣFennm
	g	tömeg%	tömeg%	tömeg%	g	tömeg%	tömeg%	tömeg%	tömeg%	tömeg%	tömeg%	tömeg%
32	–	–	0,0	100,0	110	1,1	1,1	98,9	32,3	67,0	99,3	0,7
24	–	–	0,0	100,0	2120	21,3	22,4	77,6	32,3	52,6	84,9	15,1
16	–	–	0,0	100,0	1980	19,8	42,2	57,8	32,3	39,1	71,4	28,6
12	175	3,5	3,5	96,5	1390	13,9	56,1	43,9	31,2	29,7	60,9	39,1
8	310	6,2	9,7	90,3	1440	14,4	70,6	29,4	29,2	19,9	49,1	50,9
4	460	9,2	19,0	81,0	1535	15,4	86,0	14,0	26,2	9,5	35,7	64,3
2	925	18,6	37,5	62,5	935	9,4	95,3	4,7	20,2	3,2	23,3	76,7
1	1020	20,5	58,0	42,0	370	3,7	99,0	1,0	13,6	0,6	14,2	85,8
0,5	685	13,7	71,7	28,3	95	1,0	100,0	0,0	9,1	0,0	9,1	90,9
0,25	615	12,3	84,1	15,9	–	–	100,0	0,0	5,2	0,0	5,2	94,8
0,125	485	9,7	93,8	6,2	–	–	100,0	0,0	2,0	0,0	2,0	98
0,063	200	4,0	97,8	2,2	–	–	100,0	0,0	0,7	0,0	0,7	99,3
0,0	110	2,2	100,0	0,0	–	–	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
Összesen	4985	100,0			9975	100,0			Legnagyobb szemnagyság:			32 mm
									Ellenőrzés, $m_{tervezett}$:			6,90
Legnagyobb szemnagyság:			12 mm				32 mm					
Finomsági modulus:			4,72		$m_{tervezett} = 6,90$		7,94					
Szemhalmaz tervezett részaránya:			$\alpha_{0,063/12} = 0,323$				$\beta_{2/32} = 0,677$					

A *48. ábrán* a finomszemű homokos kavicshoz (m_{finom} = 5,77) kevertük a durva szemű kavicsot (m_{durva} = 8,42), hogy a keverék szemmegoszlási görbéje az I. szemmegoszlási osztályba kerüljön. A keverési arány: α_{finom} = 46,0 tömeg% finomszemű homokos kavics és β_{durva} = 54,0 tömeg% durva szemű kavics, a keverék tervezett finomsági modulusa pedig $m_{\text{tervezett}}$ = 7,20.



48. ábra: Példa a szemmegoszlás javítására

19.2.4. Zúzottkövek, zúzott kavicsok és újrahasznosított betonadalékanyagok kőzetfizikai csoportja

A betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkő, zúzottkavics nyersanyagot vagy terméket az önszilárdság és az időállóság jellemzésére a Los Angeles aprózódás, a mikro-Deval aprózódás és a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás vizsgálat eredménye alapján a *61. táblázat* szerint, az MSZ 4798-1.2004 szabványban foglaltaknak megfelelően kőzetfizikai csoportba kell sorolni. A *61. táblázat* a zúzottkő termékek kőzetfizikai csoportján kívül bemutatja azok jelét és alkalmazhatóságát is beton készítés céljára.

A *61. táblázat* szerinti kőzetfizikai csoport rendszer egyesíti magában a hagyományos magyar kőzetfizikai csoport besorolást és a kőanyaghalmazok aprózódási (szilárdsági) tulajdonságainak európai követelményeit. Ugyanebben a rendszerben értékelhető az újrahasznosított betonadalékanyag kőzetfizikai tulajdonsága, azzal a különbséggel, hogy ennek alapját a Los Angeles aprózódás, a mikro-Deval aprózódás és a fagyállóság vizsgálat eredménye képezi.

A zúzottkő, zúzottkavics, újrahasznosított adalékanyag termék akkor sorolható be valamely kőzetfizikai csoportba, ha az ugyanazon szemnagyságú laboratóriumi mintából (frakcióból) előállított vizsgálati anyag a kőzetfizikai csoport minden követelményét egyidejűleg kielégítette.

Az európai szabványok a 10-14 mm szemnagysághatárú Los Angeles, mikro-Deval, szulfátos kristályosítási vizsgálati minták *referencia-vizsgálatát* írják elő, de megengedik nemzeti előírás szerinti *alternatív-vizsgálati* szemnagysághatárok alkalmazását is. Ha a referencia-vizsgálati minták nem állnak rendelkezésre, vagy ha nem a 10-14 mm szemnagyságú referencia mintát, hanem célszerűen magát a tényleges szemnagyságú terméket kívánjuk vizsgálni, akkor Magyarországon megegyezés alapján a Los Angeles (MSZ EN 1097-2:2010) és a mikro-Deval

(MSZ EN 1097-1:1998) vizsgálatot *alternatív-vizsgálatként*, a *61.*, illetve a *63. táblázat* szerinti vizsgálati feltételek mellett kell elvégezni (MSZ 4798-1:2004).

Hasonlóképpen a zúzottkövek és zúzottkavicsok szulfátos kristályosítási vizsgálatát (MSZ EN 1367-2:2010) is a tényleges szemnagyságú terméken ajánlott *alternatív-vizsgálatként* végezni. A zúzottkövek és zúzottkavicsok alternatív magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálati adagjainak tömegét a *64. táblázatban* tüntettük fel.

A megvásárolt zúzottkő, zúzottkavics és újrahasznosított adalékanyag termékek kőzetfizikai tulajdonságait *csak alternatív-vizsgálattal* lehet ellenőrizni.

A *zúzottkő műrevalóságának* megítélésére vett fúrásmagok anyagának kőzetfizikai csoportját a 10-14 mm szemnagysághatárú vizsgálati minta *referencia-vizsgálatával* kell meghatározni.

Az e-UT 05.01.12:2008 útügyi műszaki előírás az aszfaltútépítőipar – mint legnagyobb zúzottkő felhasználó – igényének megfelelően az aszfaltadalékanyagul szolgáló zúzottkő és zúzottkavics frakciók szemnagysághatáraként az MSZ EN 13043, MSZ EN 13242, MSZ EN 13285 szabványokban – és MSZ EN 12620 szabványban is – szereplő, és az aszfaltútépítésben használatos ún. „alap + 1 kiegészítő szitasorozat”-ot (benne a 5,6; 11,2; 22,4; 45 mm nyílású szitákkal) használja, amely követelményhez a kőbányaipar általában alkalmazkodik, és ezt a beton-útépítőiparnak is tudomásul kell vennie. Ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagysághatára az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat” szerinti, akkor ezt a körülményt a vizsgálati minta szemnagysághatáraival is követni kell. Az *alternatív* Los Angeles vizsgálat ebben az esetben alkalmazandó jellemzői a *62. táblázatban,* a mikro-Deval vizsgálat jellemzői a *63. táblázatban* találhatók.

A kőzetfizikai csoport jelében fel kell tüntetni a laboratóriumi minta (frakció) szemnagysághatárait (*d/D*) és a referencia-vizsgálat (*r*), vagy az alternatív-vizsgálat (*a*) betűjelét (például 12/20 mm névleges szemnagysághatárú termék alternatív-vizsgálata esetén például Kf-$A^{12/20-a}$). Ha alternatív-vizsgálatot végeztek, akkor az alternatív-vizsgálat jelében meg kell adni a vizsgálati minta d_1-d_2 szemnagysághatárait (például 12-20 mm szemnagyságú vizsgálati minta Los Angeles aprózódása esetén a_{LA}^{12-20}).

61. táblázat: A zúzottkő, zúzottkavics és újrahasznosított betonadalékanyagok kőzetfizikai csoportja (MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.2. táblázat alapján)

Tulajdonság és vizsgálati módszer	Vizsgálati minta szemnagysága mm	Kőzetfizikai csoportok **referencia-vizsgálatok** esetén (jele felső indexben „r”)						
		Kf-0^{r}	Kf-A^{r}	Kf-B^{r}	Kf-C^{r}		Kf-D^{r}	
					Kf-$C1^{r}$	Kf-$C2^{r}$	Kf-$D1^{r}$	Kf-$D2^{r}$
Los Angeles aprózódás, M% MSZ EN 1097-2	10-14	LA_{15} ≤ 15	15 < LA_{20} ≤ 20	20 < LA_{25} ≤ 25	25 < LA_{30} ≤ 30	30 < LA_{35} ≤ 35	35 < LA_{40} ≤ 40	40 < LA_{45} ≤ 45
Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ EN 1097-1	10-14	$M_{DE}10$ ≤ 10	10 < $M_{DE}15$ ≤ 15	15 < $M_{DE}20$ ≤ 20	20 < $M_{DE}25$ ≤ 25	20 < $M_{DE}25$ ≤ 25	25 < $M_{DE}30$ ≤ 30	25 < $M_{DE}30$ ≤ 30
Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ EN 1367-2	10-14	MS_5 ≤ 5	5 < MS_{10} ≤ 10	10 < MS_{15} ≤ 15	15 < MS_{18} ≤ 18	18 < MS_{21} ≤ 21	21 < MS_{25} ≤ 25	25 < MS_{30} ≤ 30
	A magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat kőzetfizikai csoportba soroláshoz csak zúzottkövek és zúzottkavicsok esetén alkalmazható. Az újrahasznosított adalékanyag kőzetfizikai csoportját Magyarországon a desztillált, illetve ioncserélt vizes fagyállóság vizsgálat eredménye alapján a *65. táblázat* szerint kell meghatározni.							
A zúzottkőbeton [a] ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztálya az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint a zúzottkő és zúzottkavics kőzetfizikai csoportjának függvényében [d]								
		C100/115	C50/60	C35/45	C20/25 (CP 3/2) [f]	C16/20	C12/15	C8/10

A 61. táblázat folytatódik

A 61. táblázat folytatása

Tulajdonság és vizsgálati módszer	Vizsgálható szemnagyság tartománya [c] mm	Kőzetfizikai csoportok **alternatív-vizsgálatok** esetén (jele felső indexben „a”) [e]						
		Kf-*0*[a]	Kf-*A*[a]	Kf-*B*[a]	Kf-*C*[a]: Kf-*C1*[a]	Kf-*C*[a]: Kf-*C2*[a]	Kf-*D*[a]: Kf-*D1*[a]	Kf-*D*[a]: Kf-*D2*[a]
		Újrahasznosított adalékanyag esetén a kőzetfizikai csoport jele: Kfú						
Los Angeles aprózódás, M% MSZ EN 1097-2	3-80	$a_{LA15}^{\,d_1-d_2} \le 15$	$15 < a_{LA20}^{\,d_1-d_2} \le 20$	$20 < a_{LA25}^{\,d_1-d_2} \le 25$	$25 < a_{LA30}^{\,d_1-d_2} \le 30$	$30 < a_{LA35}^{\,d_1-d_2} \le 35$	$35 < a_{LA40}^{\,d_1-d_2} \le 40$	$40 < a_{LA45}^{\,d_1-d_2} \le 45$
Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ EN 1097-1	2-24	$a_{MD10}^{\,d_1-d_2} \le 10$	$10 < a_{MD15}^{\,d_1-d_2} \le 15$	$15 < a_{MD20}^{\,d_1-d_2} \le 20$	$20 < a_{MD25}^{\,d_1-d_2} \le 25$	$20 < a_{MD25}^{\,d_1-d_2} \le 25$	$25 < a_{MD30}^{\,d_1-d_2} \le 30$	$25 < a_{MD30}^{\,d_1-d_2} \le 30$
Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ EN 1367-2	2-80	$a_{Mg5}^{\,d_1-d_2} \le 5$	$5 < a_{Mg10}^{\,d_1-d_2} \le 10$	$10 < a_{Mg15}^{\,d_1-d_2} \le 15$	$15 < a_{Mg18}^{\,d_1-d_2} \le 18$	$18 < a_{Mg21}^{\,d_1-d_2} \le 21$	$21 < a_{Mg25}^{\,d_1-d_2} \le 25$	$25 < a_{Mg30}^{\,d_1-d_2} \le 30$
	A magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat kőzetfizikai csoportba soroláshoz csak zúzottkövek és zúzottkavicsok esetén alkalmazható. Az újrahasznosított adalékanyag kőzetfizikai csoportját Magyarországon a desztillált, illetve ioncserélt vizes fagyállóság vizsgálat eredménye alapján a *65. táblázat* szerint kell meghatározni.							
Zúzottkőbeton [a] ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztálya az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint a zúzottkő és zúzottkavics kőzetfizikai csoportjának függvényében [d]								
		C100/115	C50/60	C35/45	C20/25 (CP 3/2) [f]	C16/20	C12/15	C8/10
Újrahasznosított beton [b] ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztálya az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint az újrahasznosított adalékanyag kőzetfizikai csoportjának függvényében [d]								
ha a 4 mm feletti adalékanyag 40 tömeg%-a újrahasznosított betonhulladék és 60 tömeg%-a kavics vagy zúzottkő			C45/55	C30/37 (CP 4/3) [f]	C16/20	C12/15	C8/10	C6/8

a) A zúzottkőbeton adalékanyagának 4 mm, vagy 8 mm, vagy 12 mm feletti része zúzottkő vagy zúzottkavics. A 4 mm alatti rész természetes eredetű homok (és esetleg hozzáadagolt finomszemű kiegészítőanyag) legyen.

b) Az újrahasznosított adalékanyagú beton adalékanyagának 4 mm alatti része általában részben vagy egészben természetes eredetű homok.

c) A vizsgálható szemnagyság tartománya, amely a vizsgálati minták szemnagyságát (például 12/22 mm) öleli fel.

d) Az ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztály túlléphető, ha annak indokoltságát kísérleti eredményekkel igazolják.

e) A $d_1 - d_2$ jelölés a vizsgálati minta szemnagysághatárait jelenti.

f) A CP jel az útpályaburkolati beton e-UT 06.03.31:2006, e-UT 06.03.11:2006, e-UT 06.03.12:2009 útügyi előírás szerinti húzószilárdsági osztályának jele

62. táblázat: Los Angeles vizsgálat jellemzői zúzottkövek, zúzottkavicsok és újrahasznosított adalékanyagok alternatív vizsgálata esetén

Zúzottkő és zúzottkavics		Újrahasznosított adalékanyag		Vizsgálati minta tömege g	Golyók száma	Összes golyó tömege g	Összes fordulat száma
Frakciók jele	Vizsgálati szem-nagyság mm	Frakciók jele	Vizsgálati szem-nagyság mm				
KZ 2/4 NZ 0/4 Z 0/4 ZK 0/4	3 – 4	0/4 1/4 2/4	3 – 4	5000 ± 5	6	2500 ± 15	500
–	–	0/8 2/8	3 – 4 4 – 8	2500 2500 ± 10	7	2920 ± 15	500
–	–	2/16	3 – 8 8 – 16	2500 2500 ± 10	10	4165 ± 25	500
–	–	2/20	3 – 12 12 – 20	2500 2500 ± 10	11	4580 ± 25	500
KZ 4/8 ZK 4/8	4 – 8	4/8	4 – 8	5000 ± 5	7	2920 ± 15	500
KZ 8/11 ZK 8/11	8 – 11	8/12	8 – 12	5000 ± 5	9	3750 ± 20	500
–	–	8/16	8 – 12 12 – 16	2500 2500 ± 10	10	4165 ± 25	500
–	–	8/24	8 – 16 16 – 24	2500 2500 ± 10	11	4580 ± 25	500
–	–	8/32	8 – 20 20 – 32	2500 2500 ± 10	11	4580 ± 25	500
KZ 11/16	11 – 16	12/16	12 – 16	5000 ± 5	10	4165 ± 25	500
–	–	12/24	12 – 16 16 – 24	2500 2500 ± 10	11	4580 ± 25	500
KZ 16/22	16 – 22	16/24	16 – 24	5000 ± 5	11	4580 ± 25	500
KZ 22/32	22 – 32	–	–	10000 ± 10	12	5000 ± 30	1000
NZ 4/11 Z 0/11 ZK 4/11	4 – 8 8 – 11	0/12 4/12	4 – 8 8 – 12	2500 2500 ± 10	8	3330 ± 20	500
–	–	0/16 4/16	4 – 8 8 – 16	2500 2500 ± 10	10	4165 ± 25	500
KZ 16/22	16 – 22	16/24	16 – 24	5000 ± 5	11	4580 ± 25	500
KZ 22/32	22 – 32	–	–	10000 ± 10	12	5000 ± 30	1000

A 62. táblázat folytatódik

A 62. táblázat folytatása

Zúzottkő és zúzottkavics		Újrahasznosított adalékanyag		Vizsgálati minta tömege g	Golyók száma	Összes golyó tömege g	Összes fordulat száma
Frakciók jele	Vizsgálati szem-nagyság mm	Frakciók jele	Vizsgálati szem-nagyság mm				
NZ 11/22 ZK 11/22	11 – 16 16 – 22	–	–	2500 2500 ± 10	11	4580 ± 25	500
NZ 22/32	22 – 32	24/32	24 – 32	10000 ± 10	12	5000 ± 30	1000
NZ 32/56	32 – 45 45 – 56	–	–	5000 5000 ± 20	12	5000 ± 30	1000
Z 0/22 Z 4/22	4 – 11 11 – 22	0/24, 4/24	4 – 12 12 – 24	2500 2500 ± 10	11	4580 ± 25	500
Z 0/32	8 – 16 16 – 32	0/32	8 – 16 16 – 32	2500 2500 ± 10	12	5000 ± 30	500
Z 0/45 Z 22/45	22 – 32 32 – 45	–	–	5000 5000 ± 20	12	5000 ± 30	1000
Z 0/80	45 – 63 63 – 80	–	–	5000 5000 ± 20	12	5000 ± 30	1000
ZK 8/16	8 – 11 11 – 16	–	–	2500 2500 ± 10	10	4165 ± 25	500

63. táblázat: Mikro-Deval vizsgálat jellemzői zúzottkövek, zúzottkavicsok és újrahasznosított adalékanyagok alternatív vizsgálata esetén

Zúzottkő és zúzottkavics		Újrahasznosított adalékanyag		Golyók tömege dobonként g
Frakció jele	Vizsgálati szemnagyság mm	Frakció jele	Vizsgálati szemnagyság mm	
NZ 0/4, Z 0/4, ZK 0/4, KZ 2/4	2 – 4	0/4, 2/4	2 – 4	500 ± 5
Z 0/11, KZ 4/8, ZK 4/8	4 – 8	0/8, 0/12, 4/8	4 – 8	2500 ± 5
NZ 4/11, ZK 4/11, KZ 8/11, ZK 8/11	8 – 11	4/12, 8/12	8 – 12	4500 ± 10
KZ 11/16	11 – 16	12/16	12 – 16	5500 ± 10
NZ 11/22, ZK 11/22	11 – 22	12/24	12 – 24	6000 ± 10
Z 0/22, Z 0/32, Z 0/45, Z 0/80, Z 4/22 *	Külön vizsgálandó a 4 – 8 mm-es, a 8 – 11 mm-es, a 11 – 22 mm-es részminta	0/24, 0/32 *	Külön vizsgálandó a 4 – 8 mm-es, a 8 – 12 mm-es, a 12 – 24 mm-es részminta	–
ZK 8/16 *	Külön vizsgálandó a 8 – 11 mm-es, a 11 – 16 mm-es részminta	8/16 *	Külön vizsgálandó a 8 – 12 mm-es, a 12 – 16 mm-es részminta	–
* Megjegyzés: A frakció tekintetében mértékadó a leggyengébb részminta eredmény				

64. táblázat: Vizsgálati adagok tömege zúzottkövek és zúzottkavicsok alternatív magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálata esetén

Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele	Vizsgálati minta szemnagysága mm	Vizsgálati adag tömege g
KZ 2/4, NZ 0/4, Z 0/4, ZK 0/4	2 – 4	200 – 210
KZ 4/8, ZK 4/8	4 – 8	200 – 210
KZ 8/11, ZK 8/11	8 – 11	300 – 310
KZ 11/16	11 – 16	500 – 520
KZ 16/22	16 – 22	600 – 630
KZ 22/32, NZ 22/32	22 – 32	800 – 830
NZ 4/11, ZK 4/11	4 – 11	250 – 260
NZ 11/22, ZK 11/22	11 – 22	550 - 570
NZ 32/56	32 – 45	800 – 830
Z 0/11	Szét kell szitálni (2 – 4) és (4 – 11) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/22	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11) és (11 – 22) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/32	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22) és (22 – 32) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/45	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22), (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/80	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22), (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára	
Z 4/22	Szét kell szitálni (4 – 11) és (11 – 22) mm szemnagyságú részmintára	
Z 22/45	Szét kell szitálni (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára	
ZK 8/16	Szét kell szitálni (8 – 11) és (11 – 16) mm szemnagyságú részmintára	
MEGJEGYZÉS: 1. A szétszitált részmintákat egyenként kell vizsgálni, és a vizsgálati eredmények súlyozott átlagával kell a termék magnézium-szulfátos aprózódását jellemezni. A 2 mm alatti és a 45 mm feletti szemeket nem kell vizsgálni. 2. A Z 0/22, Z 0/32, Z 0/45 és Z 0/80 frakciók esetén elegendő a két legnagyobb tömegarányú részmintát megvizsgálni.		

19.2.5. Betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állósága

Magyarországon a homok, kavics, homokos kavics általában fagyálló kőanyaghalmaz, ezért a fagy- és olvasztó-állóságát nem szokás megvizsgálni. A zúzottkövek fagy- és olvasztó-állóságát a magnézium-szulfátos kristályosítással kapott aprózódás, illetve az annak figyelembevételével meghatározott kőzetfizikai csoport fejezi ki (*61. táblázat*).

Az MSZ EN 12620:2003 szabvány a durva (2 mm feletti) adalékanyagokra közvetlen fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság és fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot írja elő. Ezt a vizsgálatot a DIN 1045-2:2001 szabvány (amely a

DIN EN 206-1:2007 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) az XF1 és XF3 környezeti osztályú betonok adalékanyagára írja elő.

Az MSZ 1367-1:2007 szerinti fagyállóság vizsgálat elve, hogy az adott szemnagyságú adalékanyag légköri nyomáson vízzel telített vizsgálati adagjait lezárt fedelű dobozban, desztillált vízzel borítva, 10 fagyás-olvadás ciklusnak kell kitenni. (Az előírt 10 ciklus a hazai mérsékeltövi kontinentális éghajlati körülmények között nem elegendő.) A ciklus 4 órán át tartó (-17,5 ± 2,5) °C hőmérsékleten való, víz alatt történő fagyasztásból, utána (20 ± 3) °C hőmérsékletű vízfürdőben való felolvasztásból, és köztük felmelegítési és lehűtési szakaszokból áll. A vizsgálat ciklus ideje 24 óra. A hűtőszekrényt a hűtött felület közepén álló lezárt doboz közepének hőmérséklete segítségével kell szabályozni. A váltakozó fagyasztás-olvasztás befejezése után a kőanyaghalmaz változásait (repedésképződés, aprózódás, adott esetben szilárdságváltozás) meg kell vizsgálni. Veszteségnek az alsó szemnagysághatár felező szitáján áthullott vizsgálati anyagot kell tekinteni. A fagyállósági osztályok aprózódási veszteségre vonatkozó határértékei 1, 2 és 4 tömeg%.

Az eljárás során a légköri nyomáson vízzel telített kőanyaghalmazt Magyarországon az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány szerinti 10 ismétlés helyett – a hazai éghajlati körülményekre tekintettel – legalább 25 (mérsékelten fagyálló), vagy legalább 35 (fagyálló), vagy legalább 50 (fokozottan fagyálló) ismétléssel kell meghatározott ideig (-17,5±2,5) ºC hőmérsékleten, desztillált vagy ioncserélt vízben fagyasztani, majd a vízben (+20±3) ºC hőmérsékletre olvasztani. A fagyasztási ciklus ideje legalább 13 óra, az olvasztás ideje legfeljebb 10 óra. A vizsgálati eredmény közlésekor az alkalmazott ciklusok számát is meg kell adni.

Ha az adalékanyagból olvasztósó hatásának kitett szerkezet készül, akkor az MSZ EN 12620:2003 szabvány ajánlását követve indokolt a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot az MSZ EN 1367-6:2009 szabvány szerinti 1 %-os nátrium-klorid oldat vagy telített karbamid oldat alkalmazásával elvégezni. Ennek eredményére nincsenek követelmény értékek, illetve osztályok előírva, a vízben történő fagyasztáshoz tartozó követelmények és osztályok nem érvényesek. Az 1 %-os nátrium-klorid oldat és 10 ciklus alkalmazásával végzendő fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat részletes leírását az MSZ EN 1367-6:2009 szabvány tartalmazza. Megjegyezzük, hogy *a legnagyobb fagykárosodást nem az 1 %-os, hanem a 3 %-os nátrium-klorid oldat okozza,* ahogy azt a betonok vizsgálata során alkalmazzák is, *a 10 fagyasztási ciklus pedig hazai időjárási viszonyaink közepette kevés.*

Ha szükséges (például újrahasznosított adalékanyag esetén feltétlenül), el lehet végezni az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány szerinti közvetlen fagyasztási vizsgálatot is.

A zúzottkövek és az újrahasznosított betonadalékanyag MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerinti fagyállósági osztálya és kőzetfizikai csoportba sorolása Magyarországon a desztillált vagy ioncserélt vízben történő fagyállóság vizsgálat eredménye alapján a *65. táblázat* szerint történik.

Ha a betont a fagyhatáson kívül olvasztósó hatása is éri, akkor a magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat helyett (például zúzottkövek és zúzottkavicsok esetén) vagy a desztillált, illetve ioncserélt vízben történő fagyasztás helyett (például újrahasznosított betonadalékanyag esetén) a kőanyaghalmazon elvégezhető, illetve elvégzendő az MSZ EN 1367-6:2009 szabvány szerinti olvasztósó-oldatos fagyállóság vizsgálat, de nem a szabványos 1 %-os, hanem a hatékonyabb 3 %-os nátrium-klorid oldatban. Ennek eredményére azonban – az európai szabványokban – kellő tapasztalat hiányában, követelmény nem áll rendelkezésre. Ennek az eljárásnak az eredményét – az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerint – nem lehet mértékadónak tekinteni, ezért a módszer alkalmazásáról és a követelményről az érdekelt feleknek esetenként írásban meg kell állapodniuk. Magyarországon megállapodás esetén a *65. táblázat* szerinti követelményeket ebben az esetben is mértékadónak lehet tekinteni.

A zúzottkő, zúzottkavics, újrahasznosított betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állóságát alternatív módon *betonban is lehet vizsgálni* úgy, hogy a beton fagy- és olvasztósó-állóságát határozzuk meg közvetlen fagyasztással (*Balázs L. – Kausay*, 2008-2009).

65. táblázat: A zúzottkövek és az újrahasznosított betonadalékanyag MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerinti fagyállósági osztálya és kőzetfizikai csoportba sorolása Magyarországon a desztillált vagy ioncserélt vízben történő fagyállóság vizsgálat veszteség alapján

MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány szerint		Magyarországon			
Fagyállósági osztály	Fagyasztási veszteség, legfeljebb, tömeg%	Kőzetfizikai csoport	Fagyasztási-olvasztási ciklusok száma, legalább		
			25	35	50
			Mérsékelten fagyálló	Fagyálló	Fokozottan fagyálló
ha a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 10			Fagyasztási veszteség, legfeljebb, tömeg%		
Fagyasztás az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány szerint desztillált vagy ioncserélt vízben					
F_1	1,0	Kf-*A*	–	–	0,10
F_2	2,0	Kf-*B*	–	–	0,20
–	2,5	Kf-*C*1	–	0,25	–
–	3,0	Kf-*C*2	–	0,30	–
–	3,5	Kf-*D*1	0,35	–	–
F_4	4,0	Kf-*D*2	0,40	–	–

19.2.6. Betonra káros szennyező anyagok az adalékanyagban

19.2.6.1. Adalékanyag kloridion-tartalma

19.2.6.1.1. Adalékanyag vízoldható kloridion-tartalma

Az adalékanyag vízoldható kloridion-tartama elsősorban az acélbetétek korróziója szempontjából veszélyes.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.2. szakasza az adalékanyag kloridion-tartalmára követelmény értéket nem ad meg, de megjegyzi, hogy ha az adalékanyag – beleértve a kiegészítőanyagként alkalmazott kőlisztet is – az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 7. fejezete szerinti *Volhard*-féle referencia módszerrel meghatározott vízben oldható kloridion-tartalma 0,01 tömeg% vagy annál kisebb, akkor ez az érték a beton kloridion-tartalmának kiszámításánál felhasználható.

A német DIN-Fachbericht 100:2010 jelentés szerint a természetes adalékanyag – beleértve a kiegészítőanyagként alkalmazott kőlisztet is – felületéről leoldható kloridion-tartalom, az MSZ EN 1744-1:2010 szerint vizsgálva beton esetén legfeljebb 0,15 tömeg%, vasbeton esetén legfeljebb 0,04 tömeg%, feszített vasbeton esetén legfeljebb 0,02 tömeg% lehet. Az újrahasznosított adalékanyag vízoldható kloridion-tartalmára német előírást nem találni, csak a savoldható kloridion-tartalomra.

Az adalékanyag vízoldható kloridion-tartalmát könyvünk *13.2.* és *19.2.6.1.1. fejezete* szerint kell a friss beton kloridion-tartalmának számításában figyelembe venni.

A betonadalékanyag felületéről vízzel leoldható kloridion-tartalmat 16 mm alatti, illetve 16 mm alá tört szemeken kell az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 7. fejezete szerinti *Volhard*-

féle referencia módszerrel meghatározni. A kőanyag kloridion-tartalmát vízzel extrahálni kell, a kivonathoz fölös mennyiségű ezüst-nitrát oldatot kell adni, majd tiocianát mérőoldattal, ammónium-vas(III)-szulfát indikátor segítségével vissza kell titrálni. Alternatív módszer az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 8. fejezete szerinti potenciometriás végpont meghatározásos eljárás, amelynek során a kloridionokat ezüst-nitrát oldattal kell az extraktumból kicsapatni. A titrálást potenciometriásan, indikátor-elektród segítségével kell végezni. Ugyancsak alternatív vízoldható kloridion-tartalom meghatározási módszer az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 9. fejezete szerinti *Mohr*-féle eljárás. Ennek lényege, hogy gyorsabb vizsgálat, mint a *Volhard*-féle módszer, és gyártásközi ellenőrzés során, a *Volhard*-féle vizsgálat előtt szokták elvégezni. Az adalékanyag mintát a kloridionok eltávolítására vízzel szobahőmérsékleten extrahálni kell, majd az extratumban lévő kloridionokat kálium-kromát indikátor jelenlétében ezüst-nitráttal titrálni kell. A kloridion-tartalmat műszeres vezetőképesség méréssel is meg lehet határozni.

19.2.6.1.2. Adalékanyag savoldható kloridion-tartalma

Ha esetleg (például újrahasznosított adalékanyag esetén) az adalékanyagban lévő kötött kloridion-tartalmat kívánjuk meghatározni, akkor a savoldható kloridion-tartalom vizsgálatát a porrá tört minta forrásban lévő salétromsavas oldattal való feltárásával az MSZ EN 1744-5:2007 szabvány szerint kell végezni. A módszer a teljes halogén-tartalmat adja meg, a fluoridon kívül. A pormintát forrásban lévő salétromsav oldattal kell extrahálni. A főzés után a csapadékot salétromsav oldattal át kell mosni és el kell távolítani. A szűrletet és a mosó oldatot szobahőmérsékletre kell hűteni. A szűrlethez – a *Volhard* módszerhez hasonlóan – fölös mennyiségű ezüst-nitrát oldatot kell adni, majd tiocianát mérőoldattal, ammónium-vas(III)-szulfát indikátor segítségével vissza kell titrálni.

A DIN 4226-100:2002 szabvány szerint az 1. típusú újrahasznosított beton hulladék, a 2. típusú újrahasznosított építmény hulladék és a 3. típusú újrahasznosított falazati hulladék adalékanyag savoldható kloridion-tartalma legfeljebb 0,04 tömeg%, a 4. típusú újrahasznosított kevert hulladék adalékanyag savoldható kloridion-tartalma legfeljebb 0,15 tömeg% lehet. A savoldható kloridion-tartalom osztály jele a DIN 4226-100:2002 szerint az első esetben $ACl_{0,04}$ és a második esetben $AC\ell_{0,15}$. Emlékeztetünk arra, hogy a DIN-Fachbericht 100:2010 jelentés szerint újrahasznosított betonadalékanyagként csak az 1. típusú beton hulladékot és a 2. típusú építmény hulladékot szabad felhasználni a 2 mm feletti szemek tartományában.

A savoldható kloridion-tartalmat a DIN 4226-100:2002 szabvány E melléklete szerint kell meghatározni, a 16 mm és 32 mm legnagyobb szemnagyságú frakcióból összeállított minta 0,09 mm alá aprított vizsgálati anyagán.

19.2.6.2. Adalékanyag szulfátion-tartalma

19.2.6.2.1. Adalékanyag vízoldható szulfátion-tartalma

Az adalékanyag vízoldható szulfátion-tartalma azért veszélyes, mert a cement kötési és szilárdulási folyamatát befolyásolhatja, a megszilárdult betonban pedig nedvesség hatására szulfátos, duzzadásos betonkorróziót, és acélkorróziót okozhat.

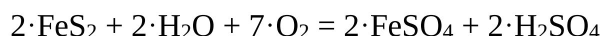
A betonadalékanyag felületéről vízzel leoldható szulfátion-tartalmat 16 mm alatti, illetve 16 mm alá tört szemeken kell az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 10. fejezete szerint meghatározni. A kőanyagot a vízoldható szulfátok kioldására desztillált vagy ioncserélt vízzel kell extrahálni, a szulfátokat bárium-klorid oldattal kell a forrásban lévő oldatbólkicsapatni. Ugyanezen szabvány szerint kell a töltőanyag (kőliszt) szulfátion-tartalmának vizsgálatát is végezni.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.3.3. szakasza szerint az $SS_{0,2}$ osztályú újrahasznosított adalékanyag legfeljebb 0,2 tömeg% vízoldható szulfátot tartalmazhat.

Hazai tapasztalatok szerint az adalékanyag beton készítésére alkalmas, ha a vízoldható szulfátion-tartalma SO_4-ben kifejezve ≤ 0,2 tömeg%, és vasbeton készítésére alkalmas, ha ≤ 0,1 tömeg% .

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.3.2. szakasza szerint a kőanyaghalmaz (ha nem darabos kohósalak) és a kőliszt MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 11. fejezete szerint meghatározott összes kéntartalma legfeljebb 1,0 tömeg%, a darabos kohósalaké legfeljebb 2,0 tömeg% lehet.

Ha az adalékanyag folyókban, bányatavakban, kőbányákban esetleg elvétve előforduló pirrhotint (a pirrhotin a vas-szulfid – FeS – instabil formája) vagy piritet tartalmaz, akkor a megengedett legnagyobb kéntartalom 0,1 tömeg%. A pirit például az érc-vidéki mellékfolyókból kerülhet a Dunába, illetve a homokos kavicsba. A pirit vasat és ként tartalmazó ásvány, vas-diszulfid, képlete: FeS_2. A beton felületén a levegő, illetve a környezet nedvesség-tartalmának hatására a levegő oxigénje szulfáttá oxidálja, vasszulfát és kénessav (H_2SO_3), majd kénsav (H_2S0_4) keletkezése mellett, amely erős sav:



$$2 \cdot FeS_2 + 2 \cdot H_2O + 7 \cdot O_2 = 2 \cdot FeSO_4 + 2 \cdot H_2SO_4$$

A pirit oxidációjának hatására a beton felületén a rozsdafoltok megjelenésén kívül a korrodáló acélbetétek hatásához hasonlóan leválások is bekövetkezhetnek. A pirit duzzadásos szulfát korróziót is okozhat.

A reakcióképes vas-szulfid részecskéket az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 14.1. szakasza szerint lehet kimutatni a minta telített mész oldatba helyezésével. Ha 5 percen belül kékeszöld, zselatinszerű vas-szulfát csapadék keletkezik, amely gyorsan barna vas-hidroxiddá alakul, akkor a minta gyors reagálású vas-szulfidokat tartalmaz.

19.2.6.2.2. Adalékanyag savoldható szulfátion-tartalma

Az adalékanyag savoldható szulfátion-tartalmának vizsgálatát az újrahasznosított adalékanyagon kívül nem szokták előírni. Az újrahasznosított adalékanyag savoldható szulfátion-tartalmát a DIN 4226-100:2002 szabvány és a DAfStb-Richtlinie (2010) irányelv az 1. és 2. típusú újrahasznosított adalékanyag esetén 0,8 tömeg%-ban korlátozza, és az ennek a követelménynek megfelelő újrahasznosított adalékanyagot az $AS_{0,8}$ osztályba sorolja.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.3.1. szakaszában a savoldható szulfátion-tartalom alapján két osztályba sorolják az adalékanyagokat, ha nem darabos kohósalak: $AS_{0,2}$, $AS_{0,8}$, és egy osztályba a darabos kohósalakot: $AS_{1,0}$, illetve a gyártó szerint megadott érték alapján: AS_{megadott}. A jel alsó indexében a megengedett szulfátion-tartalom tömeg%-ban kifejezett értéke áll.

A savoldható szulfátion-tartalmat az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 12. fejezete szerint kell vizsgálni.

19.2.6.3. Szerves szennyeződések az adalékanyagban

A durva szerves szennyeződéseket (például fa, aszfalt, tőzeg) szemrevételezéssel kell kiszűrni. Az adalékanyag durva szerves szennyeződéseket ne tartalmazzon, mert például a betonburkolatok tömörítésekor kis testsűrűségük következtében felúszhatnak, és a betonburkolat felső rétegében feldúsulhatnak. A kis testsűrűségű, durva szerves

szennyeződések mennyisége az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 14.2. szakasza szerint vizsgálva a finom adalékanyagban 0,5 tömeg%-nál, a durva adalékanyagban 0,1 tömeg%-nál ne legyen több; ha a beton felületi megjelenése is fontos, akkor e határértékeknek fele tekintendő követelménynek (MSZ EN 12620:2002+A1:2008). Az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 14.2. szakasza szerinti vizsgálat során a könnyű szerves szennyeződéseket az adalékanyagból cink-klorid ($ZnCl_2$) oldattal vagy nátrium-polywolframat ($3Na_2WO_4 \cdot 9WO_3 \cdot H_2O$) oldattal leválasztják, kiszárítják és tömegét a száraz adalékanyag tömegére vonatkoztatják (m_{LPC}).

A finom-eloszlású humusz vagy cukortartalmú anyag már 0,1 tömeg%-nál kisebb mennyiségben is lelassíthatja vagy akár meg is állíthatja a beton kötését és szilárdulását. Óvatosnak kell lenni a homokokkal, amelyek a homokbányában vízáteresztő tulajdonságuk folytán a mélyebb rétegekben is tartalmazhatnak a felszínről bemosott, és ott sötét színét elvesztő, tehát nehezen felismerhető humuszt.

Az adalékanyag humusz-tartalmát az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.1. szakasza szerinti nátronlúgos (NaOH) módszerrel kell meghatározni. Az (55 ± 5) °C hőmérsékleten kiszárított, 4 mm alá porított mintát 3 %-os nátronlúg-oldatba kell helyezni. A nátriumlúg-oldat színét 24 óra múlva össze kell hasonlítani a szabványos színminta-oldat színével. Ha a nátriumlúg-oldat színe a színminta-oldat színénél világosabb, akkor az adalékanyag nem tartalmaz humuszt, ha azonban sötétebb, akkor az adalékanyagot beton készítésére nem szabad felhasználni, illetve az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.2. szakasza szerint meg kell vizsgálni, hogy az adalékanyag tartalmaz-e fulvosavat (hívják fulvolsavnak is).

A fulvosavak a huminsavakkal együtt a talajalkotó anyagok csoportjába tartozó bonyolult összetételű szerves savak, amelyek sósavban (HCl) oldódnak, miközben az oldat sárgára színeződik. Az eljárás szerint a híg sósavba helyezett finomszemű minta feletti oldatot át kell szűrni, és a szűrlethez ónklorid ($SnCl_2$) oldatot kell adni. Ha a szűrlet zavarossá válik, akkor a minta szulfidokat tartalmaz. A vizsgálatot az ónklorid-oldat hozzáadása előtt 5 percen át forralt szűrlettel meg kell ismételni, és a szűrlet elszíneződését a szabványos színminta-csíkok színével kell összevetni. Ha a szűrlet színe a kiindulási állapothoz képest sötétebb, akkor el kell végezni az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.3. szakasza szerinti habarcs szilárdság összehasonlító vizsgálatot.

Az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.3. szakasza szerint a homok szennyezettségének vizsgálatára egy ismert, kifogástalan tulajdonságú homokkal – azonos összetétel mellett – kell összehasonlító habarcs kísérletet végezni. A habarcs kísérlet előtt a homokot nem szabad sokáig a szabad levegőn tárolni vagy kiszárítani, mert eközben károsító hatását elveszthéti. Ha a próbák kötése, szilárdulása között néhány óra múlva, legkésőbb egy nap múlva jelentős különbség mutatkozik, akkor az a vizsgált, ismeretlen tulajdonságú homok kötéskésleltető szerves szennyezettségére utaló jel. Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.4.1. szakasza szerint a kőanyaghalmaz és a kőliszt ne növeljék a habarcs próbatestek kötési idejét 120 percnél jobban és ne csökkentsék azok 28 napos nyomószilárdságát 20 %-nál nagyobb mértékben.

A cukortartalom kimutatására a habarcs szilárdság összehasonlító vizsgálat alkalmas, de a nátronlúg-oldatos és a sósav-oldatos vizsgálat alkalmatlan, mert a cukor ezeket a vizsgálati oldatokat nem színezi el.

19.2.6.4. Alkáli szilikát (kovasav) és alkáli dolomit reakció

Kedvezőtlen körülmények között – mint például az adalékanyag hajlama alkáli reakcióra, a cement nagy alkálifém-oxid-tartalma, nedves környezet, nagy hőmérséklet – a beton-adalékanyagok reakcióba léphetnek a cementkővel. Az alkáli reakció térfogat-növekedéssel jár, a reakció jellegétől függően a beton felületén reakció-termékek jelenhetnek meg, a beton teljesen összerepedezik, szilárdságát elveszti. Az ilyen betont javítani nem lehet.

Kialakulásához általában legalább egy-két év szükséges, és ezért rendkívül nehéz felkészülni rá. Az alkáli reakciót először az 1940-es években Észak-Amerikában, később Izlandon, Dániában, Angliában, Franciaországban észlelték, de 1968-ban Németországban, Schleswig-Holstein tartományban, majd Szászországban is megjelent. Hazánkban külsőségeiben az alkálifém-oxid reakcióhoz hasonló beton-tönkremenetelek már szórványosan előfordultak, de nem egyértelmű, hogy az észlelt károsodások oka valóban alkálifém-oxid reakció volt. Ugyanakkor néhány hazai adalékanyag esetében kimutatták az alkáli reakció érzékenységet (*Kausay* 2001).

A cementek alkálifém-oxid-tartalmát az MSZ EN 196-2:2005 szabvány szerint kell meghatározni.

Az alkáli reakciónak (szabatosan alkálifém-oxid reakciónak) alapvetően két változata van: az alkálifém-oxid – *szilikát* és az alkálifém-oxid – *karbonát* (dolomit) reakció.

Az **alkáli szilikát reakció** (nevezik alkáli kovasav reakciónak is) elsősorban egyes homokos kavics és zúzottkő adalékanyagok kovasav-tartalmú alkáli-érzékeny részecskéi és az alkálifém-oxid dús cementek hidratációs termékében levő alkálifém-hidroxidok (NaOH, KOH) beépülési, vagy csere-bomlása.

A ritkábban fellépő **alkáli dolomit reakció** során a dolomit adalékanyag kalcium-magnézium-karbonátja és a cementkő alkálifém-hidroxidja egymásra hatásából alkálifém-karbonát, magnézium-hidroxid (*brucit*) és kalcium-karbonát keletkezik. Az alkáli dolomit reakció esetén a reakció termékek a felületen nem feltétlenül jelennek meg.

Az alkálifém-oxid reakció nagy valószínűséggel csökkenthető, ha

- a beton környezete száraz és hőmérséklete nem nagy;
- a kovasav-tartalmú adalékanyag (például opál-homokkő, flint, kovás mészkő, grauwacke, amely utóbbi agyagos kovasav kötőanyagú homokkő) nem tartalmaz alkálifém-oxid érzékeny részecskéket;
- a dolomit adalékanyag dolomit-ásvány ($CaMg(CO_3)_2$) tartalma több, mint 90 tömeg%;
- a cement mennyisége a betonban kevesebb, mint 400 kg/m^3;
- az alkalmazott cement nátrium-oxid egyenértéke a 0,6 tömeg%-ot nem haladja meg, azaz Na_2O-tartalom [tömeg%] + 0,658·K_2O-tartalom [tömeg%] < 0,6 tömeg%. (Kifejezetten kis alkáli-tartalmúak a DIN 1164-10:2004 szabvány szerinti NA jelű cementek);
- a CEM I cementhez viszonyítva, azzal azonos klinker alapú, kevésbé hatékony alkáliákat tartalmazó kohósalak-tartalmú cementet alkalmazunk. Kísérletek szerint a növekvő kohósalak-tartalom (CEM I 32,5 R → CEM II/B-S 32,5 R → CEM III/A 42,5 N) esetén csökken a beton duzzadása.
- A kőszénpernye kiegészítőanyag adagolás is csökkentheti járulékosan az alkáli reakció fellépésének veszélyét.

Az alkálifém-oxid reakció kialakulására a keverővíz, az adalékszerek, a kiegészítőanyagok minősége is veszélytelen kell, hogy legyen.

Az MSZ CR 1901:2000 jelentés néhány CEN tagtestület (belga, dán, francia, német, izlandi, ír, olasz, holland, norvég, portugál, svéd, angol) – a beton alkáli szilikát reakció okozta károsodásának elkerülésére készített – nemzeti előírásának és ajánlásának gyűjteménye. Az MSZ CR 1901:2000 CEN jelentésben lévő németországi fejezet lényegében egybevág a DAfStb Alkali-Richtlinie (2007) német alkáli reakció irányelvben foglaltakkal. A német irányelv szerint az adalékanyag alkálifém-oxid-szilikát reakcióra nem hajlamos, ha egyidejűleg

– az adalékanyag 1 mm szemnagyság feletti opál-homokkő és egyéb opáltartalmú kőanyag-tartalma, beleértve az 1-4 mm szemnagyság közötti reakcióképes flinttartalmat is, kevesebb, mint 0,5 tömeg%;
– a 4 mm szemnagyság feletti reakcióképes flinttartalma kevesebb, mint 3,0 tömeg%;
– az opál-homokkő és egyéb opáltartalmú kőanyag-tartalmának ötszörösének és a reakcióképes flinttartalmának összege kevesebb, mint 4,0 tömeg%.

A német előírások a nedves környezetbe és alkálifém-oxid – szilikát reakcióra feltehetően érzékeny adalékanyaggal készülő beton esetére – ha a beton nyomószilárdsági osztálya nagyobb, mint C 25/30 és a cementtartalma több, mint 330 kg/m^3 – általában a DIN 1164-10:2004 német szabvány szerinti kis alkálifém-oxid-tartalmú cementek (NA-Zement) alkalmazását javasolják.

A alkáli szilikát reakcióval kapcsolatos német követelményeket a DAfStb Alkali-Richtlinie (2007) műszaki irányelv alapján a *66. táblázatban* mutatjuk be. A *66. táblázat*ban szereplő nedvességi környezeti osztályok értelmezése a DIN 1045-2:2008 szabvány és a DAfStb Alkali-Richtlinie (2007) műszaki irányelv szerint következő:

– Ha a használat során a betonszerkezet tartósan száraz, akkor a **WO** nedvességi osztályba tartozik. Ebben az esetben **E II-OF** osztályú adalékanyag esetén sincs szükség óvintézkedésre.
– Ha a beton gyakran vagy hosszú ideig nedves, akkor a **WF** nedvességi osztályba tartozik. Ilyen szerkezet például a nedvességtől védtelen, felületi vizekkel érintkező, talajnedvességnek kitett külső szerkezet. Ha a beton adalékanyaga **E III-OF** osztályú, a cement mindig kis alkáli-tartalmú (NA-Zement) legyen.
– Ha a beton nedves és *tartósan külső alkáli hatásnak* van kitéve, akkor a **WA** nedvességi osztályba tartozik. Ilyen például *az olvasztósó hatásának kitett szerkezet*, ha dinamikus hatás nem éri (például fröccsenő víznek kitett szerkezet, parkolóházak járó és parkoló felülete). Ebben az esetben **E III-OF** osztályú adalékanyagot nem szabad használni.
– Ha a beton nedves és *tartósan külső alkáli hatásnak* van kitéve, továbbá nagy *dinamikus hatás* is éri, akkor a **WS** nedvességi osztályba tartozik. Ilyen szerkezet a beton útpályaburkolat és a repülőtéri betonburkolat. Ennek esetében sem szabad **E III-OF** osztályú adalékanyagot használni.

Eszerint Németországban, ha az adalékanyag az alkáli szilikát reakció szempontjából veszélyes opál-homokkövet és flintet tartalmaz, akkor az adalékanyag az E III-OF osztályba tartozik, amely esetben:

– a WO nedvességi osztályban nincs szükség óvintézkedésre;
– a WF nedvességi osztályban mindig kis alkáli-tartalmú cementet (NA-Zement) kell használni;
– a WA és WS nedvességi osztályban az E III-OF osztályú adalékanyag nem használható.

A német adalékanyag alkáli reakció érzékenységi osztályok jelének magyarázata a *66. táblázatban* található.

66. táblázat: Alkáli szilikát reakcióval kapcsolatos követelmények Németországban (DAfStb Alkali-Richtlinie, 2007)

Adalékanyag alkáli reakció érzékenységi osztálya	Cement-tartalom kg/m³	Követelmények a nedvességi osztályban		
		WO	WF	WA
E I; E I-O; E I-OF; E I-G	Nincs előírva	–	–	–
E II-O	≤ 330	–	–	NA-Zement
E III-O		–	NA-Zement	Adalékanyagot ki kell cserélni
E II-O; E II-OF	> 330	–	NA-Zement	NA-Zement
E III-O; E III-OF		–	NA-Zement	Adalékanyagot ki kell cserélni
E III-G	≤ 300	–	–	–
	300-350	–	–	NA-Zement 1)
	> 350	–	NA-Zement 1)	Adalékanyagot ki kell cserélni

Megjegyzés: NA-Zement = Kis alkáli-tartalmú cement
NA-Zement 1) = Kis alkáli-tartalmú vagy azzal igazoltan egyenértékű cement
E I = Veszélytelen — O = Opál-homokkő
E II = Feltételesen használható — OF = Opál-homokkő és pórusos flint
E III = Veszélyes — G = Grauwacke (homokkőfajta)

Az adalékanyag alkálifém-oxid reakcióra való érzékenységére kőzettani, kémiai és duzzadás vizsgálatok eredményéből lehet következtetni.

Az ASTM szabványok szerinti vizsgálati eljárásokat a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 11. fejezete kivonatosan ismerteti.

Az ASTM C 227:2003 szabvány szerint 0,125-4,8 mm szemnagyságú adalékanyagból 1:0,5:2,25 cement:víz:adalékanyag keverési arányú habarcsot kell kényszerkeverőgépben készíteni, és például 100·100·500 mm méretű hasábsablonokba bevibrálni. A próbatesteket tömörítésük után azonnal 100 % rel. páratartalmú és 37,8 °C hőmérsékletű ködkamrába kell helyezni, és abban 6 hónapos kell tárolni A habarcshasábok hosszváltozását havonta meg kell mérni. Az adalékanyag akkor érzékeny az alkáli szilikát (kovasav) reakcióra, ha a duzzadás mértéke 3 hónap után 0,05 %-nál, illetve 6 hónap után 0,1 %-nál nagyobb. Előfordulhatnak olyan alkáli reakció veszélyes adalékanyagok is, amelyek esetén a habarcs próbatestek csak 1-3 éven át, 50 °C hőmérsékleten, esetleg nátrium-kloridban történő tárolás után duzzadnak. A módszer mind az alkáli szilikát, mind az alkáli dolomit reakcióra való érzékenység vizsgálatára alkalmas.

Az ASTM C 289:2007 szabvány a az 1,0 N koncentrációjú nátrium-hidroxid oldatba helyezett 0,15-0,3 mm szemnagyságú adalékanyag minta 24 órás hőkezelését írja elő 80 °C hőmérsékleten. Ezután meg kell határozni az oldatban a nátrium-hidroxid koncentráció csökkenését, valamint az oldódó kovasav (szilícium-dioxid) koncentrációját. Az alkáli szilikát reakció érzékenységre értékelő diagramból következtetnek. Ha például 50 mmól/liter feloldott kovasav mennyiség esetén az a nátrium-hidroxid molaritásának csökkenése több, mint 50 mmól/liter, vagy 250 mmól/liter feloldott kovasav mennyiség esetén több, mint 220 mmól/liter, akkor az adalékanyag nem reakcióképes.

Az ASTM C 586:2011 szabvánnyal a karbonátos adalékanyagok alkáli dolomit reakcióra való hajlama vizsgálható. A vizsgálandó kőzetből Ø(9±1)·(35±5) mm méretű, kúpos végű hengereket kell készíteni, és ezeket 1,0 N koncentrációjú nátrium-hidroxid oldatban kell tárolni. A hengerek hosszúságát 1, 7 és 28 napos korban le kell mérni. *A kőzetet akkor tekintik alkáli érzékenynek, ha a lineáris duzzadás 28 napos korban nagyobb, mint 0,1 %.*

Az ASTM C 441:2005 szabvány a kiegészítőanyagoknak, például kohósalakoknak a képességét – az alkáli szilikát reakció hatására végbemenő betonduzzadás megelőzésére – teszi vizsgálat tárgyává. A módszer szerint 900 g igen alkáli-érzékeny pyrex-üveg adalékanyaggal és 400 g 1,0 tömeg% nátrium-oxid egyenértékű cementtel kell ellenőrző keveréket, és egy olyan vizsgálati keveréket készíteni, amelyben a 400 g cement 100 g-ját a cementtel azonos térfogatú kiegészítőanyag helyettesíti. A keverékekből a próbatestek készítését, utókezelését és hosszváltozásának a mérését az ASTM C 227:2003 szabvány szerint kell végezni. A kiegészítőanyag hatékonyságát az alkáli reakció csökkentésére annak alapján ítélik meg, hogy milyen mértékben csökken a vizsgálati keverékből készült próbatestek lineáris duzzadása az ellenőrző keverékből készített próbatestekhez képest.

Az adalékanyag alkáli szilikát reakcióra való hajlamát gyors vizsgálattal a német DAfStb Alkali-Richtlinie (2007) irányelv szerinti módszerrel lehet megvizsgálni.

19.2.6.5. Napégette (napszúrásos), kokkolitos (kukoricás) bazalt

A napégette bazalt nefelin ($3Na_2O \cdot K_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$) és egyéb földpáttartalma atmoszférikus (levegő és napfény) hatásokra mintegy 5 %-os térfogat növekedés mellett analcim (más néven analcit, $Na(AlSi_2O_6) \cdot (H_2O)$) ásvánnyá alakul, és ennek hatására a bazalt foltossá, repedezetté válik, ütésre diónyi nagyságú darabokra esik szét. A jelenség a bazalt napvilágra kerülése után néhány napon belül, más esetekben esetleg csak később játszódik le. A napégette bazalt változata – éles megkülönböztetés nélkül – a kokkolitos vagy kukoricásnak nevezett bazalt (*49. ábra*). Gyakran kiváló minőségű bazalttömbökben fordulnak elő.



49. ábra: Kokkolitos, kukoricás bazalt. A világos foltok a kőzet megdermedése után keletkeztek

Az MSZ EN 13043:2003 aszfalt adalékanyag (lényegében zúzottkő) szabvány a napégette bazalt MSZ EN 1367-3:2001 szerinti, (36 ± 1) órán át tartó forralásos, tömegméréssel kombinált vizsgálatát írja elő. Forralás után a mintán az MSZ EN 1097-2:2010 szerinti Los Angeles aprózódási vizsgálatot vagy ütőkosos ütővizsgálatot kell elvégezni, és ennek eredménye alapján kell a kőanyagot osztályba sorolni. Ha a tömeg veszteség a forralás következtében ≤ 1,0 tömeg% és a forralás hatására a Los Angeles aprózódási veszteség növekedése ≤ 8 tömeg%, akkor a bazalt SB_{LA} osztályú, egyébként $SB_{LAmegadott}$ osztályú, ha az ütőszilárdság növekedése ≤ 5 tömeg%, akkor SB_{SZ} osztályú, egyébként $SB_{SZmegadott}$ osztályú.

Tapasztalatok szerint minél kisebb a kokkolitos kő szemnagysága, annál kisebb a hajlam a szétesésre. Ezért belőle csak 12 mm-nél kisebb szemnagyságú zúzottkő frakciók gyártása javasolt. Ugyanakkor összehasonlító kísérletek során a 350 kg/m^3 CEM 42,5 jelű cementet tartalmazó, 32 mm legnagyobb szemnagyságú kokkolitos bazalt adalékanyaggal készített betonok – a kokkolitos bazalt kisebb szilárdsága ellenére, de zömökebb szemalakjának, jobb bedolgozhatóságának és feltehetően jobb tapadási képességének köszönhetően –, az egészséges bazalt adalékanyagú betonnál nagyobb nyomószilárdságot, de kisebb hajlító-húzószilárdságot adtak. Egyforma szemalak esetén viszont a kokkolitos bazalt adalékanyag az egészséges bazalt adalékanyaggal nem versenyképes (*Kausay* 1965).

19.2.6.6. Acélsalak adalékanyag okozta korrózió

Keletkezési körülménye, összetétele, szennyező anyagtartalma és eltérő tulajdonságai folytán éles különbséget kell tenni a kohósalak (nyersvasgyártási salak) és az acélsalak (acélgyártási salak) között.

A nyersvasat vasércből, nagyolvasztó kohóban állítják elő, ennek a mellékterméke a kohósalak (nyersvasgyártási salak). A nyersvas tisztasága mérsékelt, ezért a kohósalak betontechnológiai szempontból viszonylag kevés káros anyagot tartalmaz.

A *kohósalak* a nyersvas előállításakor keletkező szilikátolvadék (nyersvasgyártási melléktermék), amely megfelelően kezelve és feldolgozva, vízzel gyorsan lehűtve gyengén hidraulikus tulajdonságánál fogva őrölt granulált kohósalakként II. típusú aktív kiegészítőanyag céljára; lassan lehűtve darabos kohósalakként például beton adalékanyag céljára; vízsugárral habosítva, majd lassan lehűtve habosított kohósalakként, például könnyűbeton adalékanyag céljára kiválóan alkalmazható.

Az acélt az előállított nyersvas további – konverteres (például Bessemer, Thomas) vagy Siemens-Martin, vagy újabban még korszerűbb eljárásos – feldolgozással gyártják, ennek mellékterméke az acélsalak (acélgyártási salak, nevezik martin-salaknak is). Az acél már nagy tisztaságú fém, a nyersvas szennyezői az acélsalakba kerülnek, így az *acélsalak* sokkal több szennyező és instabilis anyagot tartalmaz, mint a kohósalak.

Például az ózdi acélsalakot (martin-salakot) az 1980-as–1990-es években felhasználták beton-adalékanyagként családi házak építéséhez, és az néhány év-évtized alatt a beton, illetve mintegy 850 épület tönkremenetelét okozta. A tönkremenetel oka az volt, hogy a martin-acélsalak szabad magnézium-oxidot (periklászt) tartalmaz, amely nedvesség (a levegő páratartalma) hatására a betonban lassan beoltódik, és dolomit-mészhidráttá (oltott dolomitmésszé, azaz kalcium-magnézium-tetrahidroxiddá, meszes-brucittá) átalakulva térfogatát kétszeresére növeli, és a megszilárdult betont összerepeszti (*Révay* 2001/6). A betont a martin-salak kéntartalma is károsíthatja.

Tanulság, hogy az acélsalakot betontechnológiai célra, például adalékanyagként alkalmazni tilos.

20. KIEGÉSZÍTŐANYAGOK

A kiegészítőanyagok finom szemű szerves vagy szervetlen anyagok, amelyeket a beton egyes tulajdonságainak javítására, vagy különleges tulajdonságainak kialakítására szokás alkalmazni. Az eddigi tapasztalatok szerint a szabványos kiegészítőanyagoknak nincs környezetkárosító hatása. Ha a kiegészítőanyag nem szabványos, akkor gyanú esetén a környezeti összeférhetőséget külön igazolni kell.

A szerves kiegészítőanyagok közé tartoznak például a műanyag diszperziók.

A szervetlen kiegészítőanyagok az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint I. típusú inert kiegészítőanyagok vagy II. típusú aktív kiegészítőanyagok lehetnek.

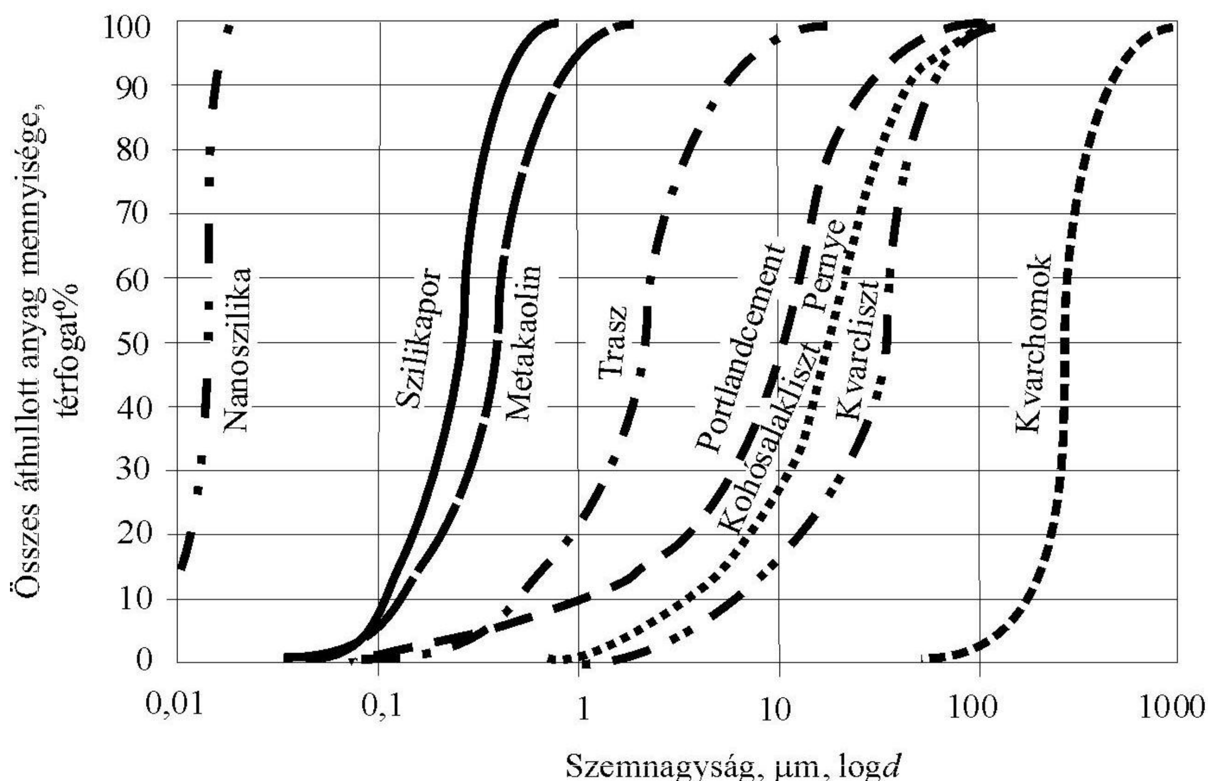
A szervetlen kiegészítőanyagokat a beton összetételének térfogat szerinti számítása során figyelembe kell venni. A szervetlen kiegészítőanyagok hatással vannak a friss beton levegő-tartalmára, konzisztenciájára, bedolgozhatóságára, víz-megtartó képességére, adott esetben a kötési és a szilárdulási folyamatára, a szilárd beton szilárdságára, tömörségére, tartósságára, színére. Térkitöltő hatásuk és hidraulikus tulajdonságuk (ha van) érvényesülésében jelentős szerepet játszik a nagy fajlagos felületük, kis szemnagyságuk (*67. táblázat, 50. ábra*).

A beton tulajdonságait és a vasbetétek korrózióvédelmét károsan nem befolyásolhatják.

Ausztriában a különböző szervetlen kiegészítőanyagokat, például pernyét, őrölt, granulált kohósalakot és mészkőlisztet együtt, kombinált kiegészítőanyagként is alkalmazzák. Az összetételt és az őrlési finomságot mindenek előtt a friss beton tervezett tulajdonságainak vetik alá.

67. táblázat: Kiegészítőanyagok és a portlandcement fajlagos felülete és átlagos szemnagysága

Anyag megnevezése	Átlagos anyagsűrűség g/cm^3	Fajlagos felület m^2/kg	Átlagos szemnagyság mm
Pigment		500.000 – 700.000 (*BET* szerint)	
Nanoszilika	2,00	180.000 – 230.000 (*BET* szerint)	0,000013 – 0,000017
Szilikapor	2,30	15.000 – 35.000 (*BET* szerint)	0,0001 – 0,0002
Metakaolin	2,50	10.000 – 17.000 (*BET* szerint)	0,0001 – 0,0002
Trasz	2,50	500 – 1.800 (*Blaine* szerint)	0,001 – 0,005
Kőliszt	2,85	350 – 1.000 (*Blaine* szerint)	0,002 – 0,006
Portlandcement	3,10	350 – 450 (*Blaine* szerint)	0,004 – 0,006
Kohósalakliszt	2,90	275 – 550 (*Blaine* szerint)	0,004 – 0,008
Pernye	2,35	270 – 530 (Blaine szerint)	0,005 – 0,009
Kvarcliszt	2,65	170 – 400 (*Blaine* szerint)	0,006 – 0,013
Megjegyzés: Az átlagos szemnagyságot a 6/{(anyagsűrűség)·(fajlagos felület)} összefüggés segítségével számítottuk ki.			



50. ábra: Kiegészítőanyagok hozzávetőleges szemmegoszlási görbéinek összehasonlítása (DAfStb, Heft 561. 2008 nyomán)

20.1. Aktív (II. típusú) kiegészítőanyagok, hidraulitok

Aktív (II. típusú) kiegészítőanyagnak, hidraulitnak vagy hidraulikus kiegészítőanyagnak a *puccolános* és a *rejtett (latens) hidraulikus* tulajdonságú anyagok összességét nevezzük. A hidraulitok amorf, üveges szerkezetű anyagok.

Az aktív kiegészítőanyagok és a portlandcement főbb ásványi jellemzőit a *68. táblázat* tartalmazza.

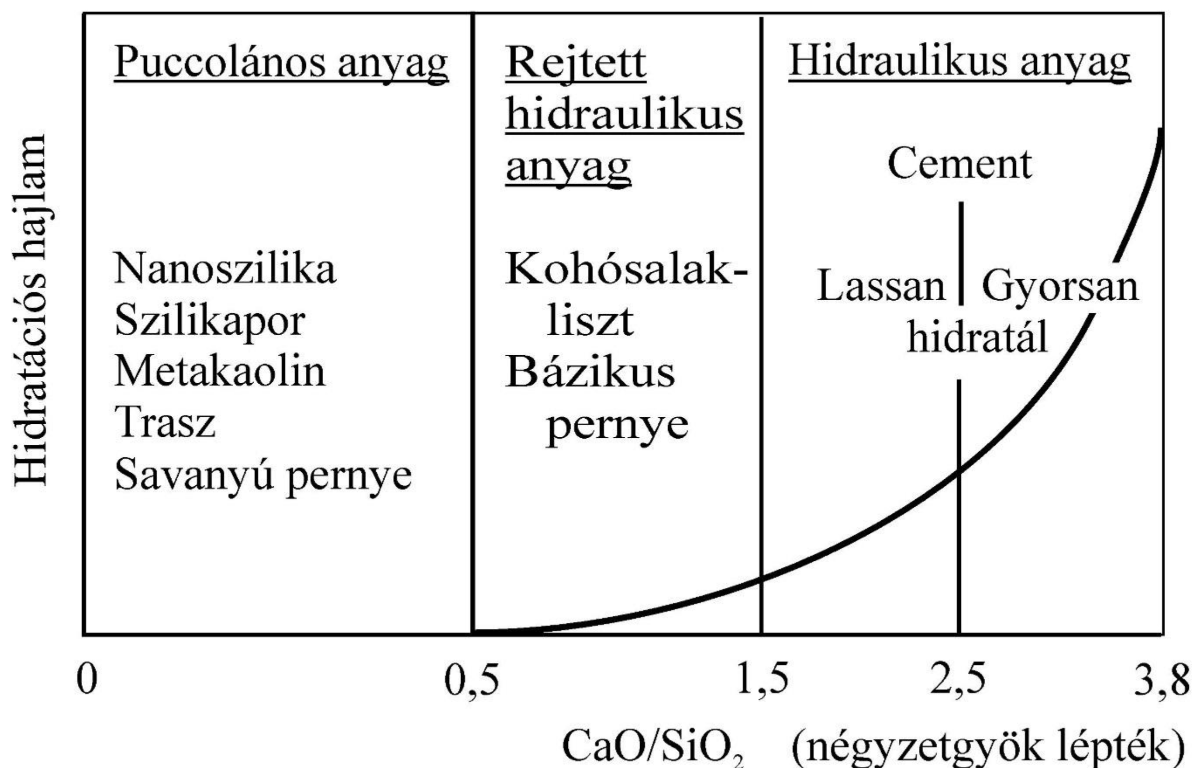
68. táblázat: Az aktív, II. típusú kiegészítőanyagok és a portlandcement főbb kémiai összetevői

Anyag megnevezése	Főbb kémiai összetevők				
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Mész-modulus CaO/SiO_2
	Összetétel, tömeg%				
Nanoszilika	–	100	–	–	< 0,5
Mikroszilika	0,2 – 0,4	91 – 97	1,0 – 1,4	0,2 – 1,2	< 0,5
Metakaolin	0,1 – 0,34	51 – 55	40 – 42	0,5 – 4,6	< 0,5
Trasz	2,5 – 4,0	60 – 70	10 – 16	0,5 – 7,0	< 0,5
Savanyú pernye	0,6 – 8,5	40 – 60	23 – 24	2 – 16	< 0,5
Kohósalakliszt	34 – 47	30 – 40	9 – 20	0,1 – 0,9	0,51 – 1,49
Bázikus pernye	10 – 44	15 – 63	2 – 16	6 – 24	0,51 – 1,49
Portlandcement	61 – 69	18 – 24	4 – 8	1 – 5	≥ 1,5

Puccolános tulajdonság a víz hatására önmagában szilárdulni nem képes, kevés (vagy zérus) reakcióképes mészhidrátot és jelentős mennyiségű reakcióképes szilícium-dioxidot tartalmazó olyan anyag tulajdonsága, amely külső forrásból származó reakcióképes mészhidrát (például a cement szabad kalcium-hidroxid-tartalma) és víz jelenlétében, víz alatt is, kalcium-szilikát és

esetleg más ásványok képződése közben, lassan megszilárdul. A puccolános tulajdonságú anyag mész-modulusa: $CaO/SiO_2 < 0,5$. A puccolános kiegészítőanyagok a fiatal beton szilárdulási folyamatára az inert kiegészítőanyagokhoz hasonlóan a szemmegoszlás javításával és a tömörség fokozásával hat. Minthogy a puccolánok lassan reagálnak, gondos utókezelésre van szükség, mert különben a beton tartóssága – első sorban a felületen – károsodik. Puccolános tulajdonságú kiegészítőanyag a szilikapor (MSZ EN 13263-1:2005+A1:2009), a savanyú pernye (MSZ EN 450-1:2013, a metakaolin, a nanoszilika, a természetes puccolánok, például a trasz és a tufa (*51. ábra*).

Rejtett (latens), gyengén hidraulikus tulajdonság a víz hatására önmagában nagyon lassan és kismértékben szilárduló, bizonyos mennyiségű reakcióképes mészhidrátot és reakcióképes szilícium-dioxidot tartalmazó olyan anyag tulajdonsága, amely külső forrásból származó reakcióképes mészhidrát (például a cement szabad mészhidrát-tartalma) és víz jelenlétében, víz alatt is, kalcium-szilikát és más ásványok képződése közben megszilárdul. A rejtett hidraulikus tulajdonságú anyag mész-modulusa: $0,5 \leq CaO/SiO_2 < 1,5$. A gyengén hidraulikus kiegészítőanyagok a cementek korai szilárdulási folyamatában is szerepet játszanak, és jelentősen befolyásolják a beton kötését és szilárdulását. Ehhez – a beton tulajdonságok nagyobb ingadozásának és károsodásának elkerülése érdekében – az szükséges, hogy a gyengén hidraulikus kiegészítőanyag és a cement tulajdonságai kölcsönösen összhangban legyenek egymással. Az összhang általában akkor legjobb, ha a gyengén hidraulikus kiegészítőanyagot fő alkotórészként a cementhez adják. Gyengén hidraulikus tulajdonságú kiegészítőanyag az őrölt, granulált kohósalak, más szóval kohósalakliszt (MSZ EN 15167-1:2007) és a bázikus pernye (*51. ábra*).



51. ábra: Aktív kiegészítőanyagok és a cement hidratációs hajlama a mész-modulus (CaO/SiO_2 arány) függvényében

20.1.1. Szilikapor, mikroszilika szuszpenzió

A szilikapor amorf kvarc, amely puccolános tulajdonsága folytán lassan és csak gerjesztő, aktivizáló anyag, esetünkben például cement jelenlétében szilárdul.

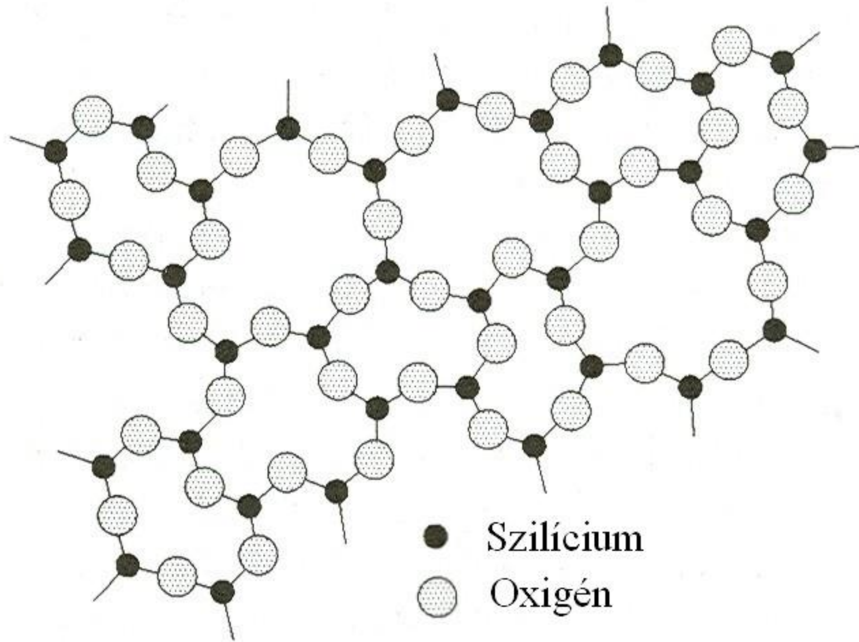
A szilikapor szilícium és szilíciumötvözetek, például a – 16-60 mm szemnagyságú kvarckavics, acélhulladék és koksz, illetve faszén alapanyagú – nagy tisztaságú ferro-szilícium gyártása során melléktermékként keletkezik, amikor is az elektromos olvasztó ívkemencében a kvarc (SiO_2) 1650 °C feletti hőmérsékleten megolvad, és egy oxigén-atomot vesztve szilíciumoxid-gőz (SiO) keletkezik. Ezen a magas hőmérsékleten a szilícium-gőz egyik része reakcióba lép a szén elégésekor keletkező szén-dioxiddal, ez adja a fémes, ún. nyers-szilíciumot, másik része a kemence használt levegőjének oxigén-tartalmával reagálva szilícium-tetraoxiddá (SiO_4) alakul, és lehűléskor finom gyöngy alakjában lecsapódik.

A szilícium-tetraoxid molekulák közös oxigén-atomokkal egymáshoz kapcsolódva szabálytalan térhálót képeznek, amelyben ezáltal az oxigén:szilícium elem-arány 2:1, tehát a kiindulási kristályos kvarc egy része amorf alakban voltaképpen szilícium-dioxiddá (SiO_2) alakul vissza. Ezt a finom amorf szilícium-dioxid gyöngyöt dolgozzák fel mikroszilikának nevezett beton kiegészítőanyaggá, por (szilikapor) vagy szuszpenzió (mikroszilika szuszpenzió) formájában.

A szilikapor legalább 85 tömeg% amorf szilícium-dioxidot tartalmaz, a szemek gömb alakúak, átlagos nagyságuk mintegy (0,1-0,3) µm, és így lényegében két nagyságrenddel kisebbek, mint a cement szemek, amelyek átlagos szemnagysága (5-30) µm (*50. ábra*). Az MSZ EN 13263-1:2005+A1:2009 szabvány szerint a szilikapor fajlagos felülete az ISO 9277:2010 szerinti *BET* (*Brunauer, S. – Emmett, P. H. – Teller, E.* nevének kezdőbetűiből) gázadszorpciós módszerrel vizsgálva (150.000-350.000) cm^2/g (15 – 35 m^2/g) közé kell esnie, és ezáltal közel két nagyságrenddel nagyobb, mint a cement vagy a pernye fajlagos felülete. A cement *Blaine* szerinti fajlagos felülete mintegy (3.000-4.500) cm^2/g, azaz (300-450) m^2/kg. A szilikapor anyagsűrűsége (2,2-2,4) g/cm^3, halmazsűrűsége laza állapotban (0,20-0,35) g/cm^3.

A szilikapor betonbeli ártalmatlansága érdekében szulfát ($SO_3 \leq 2{,}0$ tömeg%) és klorid ($Cl^- \leq 0{,}3$ tömeg%) tartalmát, továbbá izzítási veszteségét (≤ 4,0 tömeg%) korlátozzák.

Eichler, W-R. (1991) szilárdulási modellje szerint a szilikapor vízzel való érintkezéskor a felületén kovasavvá (H_4SiO_4), majd polikovasavvá alakul. A vízben oldott polikovasav bevonja a szilikapor szilárd amorf kvarc fázisát. Ez a szilikapor-szuszpenzió gélképződésének folyamata. Ugyanakkor a cement hidratációja során kalcium-hidroxid keletkezik, amellyel mind a szilárd amorf kvarc, mind a polikovasav reakcióba lép, és eszerint a végtermék különböző lehet. A szilárd amorf kvarc szilícium-tetraoxid térhálójába kalcium-ionok épülnek be (*52. ábra*), ami végül a lúgos környezetben a térháló felhasadását okozza, és kalcium-szilikát-hidrátok képződésére vezet. Az ebből adódó szilárdság-növekmény általában 5-7 nap múlva jelentkezik.



52. ábra: A cement hidratációja során az amorf kvarc szilícium-tetraoxid térhálójába kalcium-ionok épülnek be (*Eichler* 1991)

A szilikapor-tartalmú *beton* belső fajlagos felülete az eredetinek többszöröse, ezért a szilikaporos betonban az adalékanyagot, cementet és szilikaport bevonó vízréteg a szokásosnál sokkal vékonyabb, és a belső *van der Waal* erők nagyobbak. Emiatt a szilikapor-tartalmú beton konzisztenciája a szokásos terülési mértékkel vagy roskadási mértékkel nem fejezhető ki. A friss beton ragadós lesz, földnedvesbe hajló konzisztenciáját folyósító adalékszerrel kell javítani, keverésének energiaigénye nagyobb és módszere választékos. Nagyhatású folyósítószerrel a víz molekulákat összetartó dipól erőkre lehet hatni, a belső kohézió lecsökkenthető, és a szokásos konzisztencia mérő módszerek újra alkalmazhatók, végül szilikapor-tartalmú beton jól bedolgozható.

A szilikapor javítja a beton szulfát- és kloridállóságát, és akár feleslegessé is teheti a szulfátálló cement alkalmazását; csökkenti a beton vízáteresztő-képességét; növeli a beton tapadóképességét az acélbetétekhez és az alapréteghez. A CEM III/A kohósalakcement és szilikapor kiegészítőanyag a legjobb kombináció klorid-behatolással szemben.

Ugyanakkor nem szabad elfelejteni, hogy a szilikapor-tartalmú betonnak kisebb a kloridion megkötő képessége mint a szilikapor nélküli betoné, mert a szilikapor csökkenti a beton pH-át (*Kopecskó – Balázs* 2006, 2008).

Az utókezelés nélküli szilikaporos beton *zsugorodása* az utókezelt szilikapor nélküli betonénak másfél- kétszerese is lehet, ezért a szilikaporos beton utókezelése, amely ezt a különbséget jelentősen csökkentheti, igen fontos. A szilikapor-tartalom általában növeli a beton *rugalmassági modulusát* (részben a nagyobb nyomószilárdság következtében), és csökkenti a beton *kúszását*. Szilikaporral finomsága, pórus kitöltő képessége és puccolános szilárdulása folytán nagyon tömör és nagyon nagy szilárdságú betonok készíthetők. A nagy testsűrűség, nyomószilárdság, rugalmassági modulus, és a viszonylag kis kúszás növeli a beton *ridegségét* és *repedés érzékenységét*. A szövetszerkezet szívóssá tehető, a repedésérzékenység csökkenthető, ha a szilikaporos betonhoz *erősítőszálat* keverünk.

A szilikapor adagolású beton előnyösen alkalmazható szálerősítésű betonok, nagyszilárdságú betonok (C55/67 – C100/115; LC55/60 – LC80/88), ultra nagy szilárdságú betonok

(nyomószilárdsága 150 – 300 N/mm^2), előregyártott vasbeton elemek (például tübbingek és egyéb mélyépítési elemek, pörgetett elemek), feszített vasbeton elemek, vizes vagy száraz eljárású lőtt- (lövellt) betonok, agresszív hatásoknak ellenálló betonok, szivattyús betonok készítéséhez, de nem szabad alkalmazni feszítőkábelek burkolócsövének injektálására.

Megjegyezzük, a szakirodalomban találhatók utalások arra, hogy a szilikapor több kedvező hatása több éves betonokon már nem érvényesül úgy, mint ahogy a beton 1-2 éves kora előtt mutatkozott.

Az erős puccolános reakció folytán nagy szilikapor-tartalom esetén a pórus víz – az acélbetét korrózióvédelméhez szükséges – lúgossága a megengedettnél jobban csökken, ezért vasbetonban és feszített vasbetonban a szilikapor megengedett adagolása a cement tömegére vetítve CEM I fajtájú cement esetén legfeljebb 11 tömeg% legyen (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004).

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány a „víz/(cement + k·kiegészítőanyag) tényező" bevezetésével megengedi a II. típusú (aktív) kiegészítőanyagok számításbavételét a víz-cement tényező hányadosának nevezőjében. Szilikapor alkalmazása esetén az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 5.2.5.2.3. szakasza szerint, ha szilikapor/cement tömegarány legfeljebb 0,11, akkor a „víz/(cement + k·szilikapor) tényező" módosított víz-cement tényező összefüggésben szereplő „*k-érték*" k = 2,0, de a 0,45 értéknél nagyobb víz-cement tényezővel készülő XC és XF környezeti osztályú betonok esetén csak k = 1,0. A (cement + k·szilikapor) mennyisége nem lehet kevesebb, mint a környezeti osztályban előírt legkisebb cementtartalom (*17. táblázat*). Ha a megengedett legkisebb cementtartalom ≤ 300 kg/m^3, akkor szilikapor kiegészítőanyag alkalmazása esetén a cementtartalmat legfeljebb 30 kg/m^3 értékkel szabad csökkenteni.

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 5.2.5.3. szakasza más cement és kiegészítőanyag kombinációkban is megengedi a legkisebb cementtartalomra és a legnagyobb víz-cement tényezőre vonatkozó követelmények módosítását, ha a beton egyenértékűségét bizonyítják.

A DIN 1045-2:2008 szabvány 5.2.5 fejezete a szilikapor alkalmazásával kapcsolatban további szabályokat is tartalmaz. Így például kimondja, hogy szilikapor-tartalmú cement mellett (a szilikapor fő alkotórész betűjele az MSZ EN 197-1:2011 szabványban: *D*) szilikaport a betonban kiegészítőanyagként használni nem szabad.

A DIN 1045-2:2008 szabvány szerint kizárólag szilíciumfém vagy ferro-szilícium ötvözet gyártásakor keletkező szilikaport szabad alkalmazni. A szilikapornak nem szabad a betonacélra vagy a beágyazott feszítőacélra káros összetevőket korróziót okozó mennyiségben tartalmaznia. Az olyan szilikapor, amelynek elemi szilícium-tartalma több mint 0,4 tömeg%, durranógázt képezhet. Ha a szilikapor kloridion-tartalma 0,2 tömeg%-nál több, akkor előfeszített vasbeton esetén az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány 10. táblázatának előírásait be kell tartani (*38. táblázat*). Az alkalmazott szilikapor fajlagos felülete a betonban az egyenletesség érdekében szűk tartományt képviseljen.

A DIN 1045-2:2008 szabvány szerint az XF2 és XF4 környezeti osztályú beton esetén a szilikaport nem szabad a cementadagolás csökkentésére figyelembe venni. A többi környezeti osztályban, ha a beton CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-P, CEM II/B-P, CEM II/A-V, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S, P, V, T, LL), CEM II/B-M (S-T, S-V) jelű portlandcementtel vagy CEM III/A és CEM III/B jelű kohósalakcementtel készül, akkor a (cement + szilikapor) együttes mennyisége el kell érje a környezeti osztályok cementadagolásra vonatkozó követelményét (lásd a *17. táblázatot*), és a módosított víz-cement tényező: víz/(cement + k·szilikapor), ahol k = 1,0.

A DIN 1045-2:2008 szabvány és a DIN-Fachbericht 100:2010 jelentés 5.2.5.2.4 szakasza szerint a szilikaport pernye kiegészítőanyaggal együtt is szabad alkalmazni, de cementtartalomra vonatkoztatott szilikapor-tartalom nem lehet több, mint 11,0 tömeg%. Az XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok kivételével megengedett a *17. táblázatban* megadott legkisebb cementadagolások csökkentése, de a (cement + pernye + szilikapor) együttes mennyisége el kell érje a környezeti osztályok cementadagolásra vonatkozó követelményét (*17. táblázat*). A víz-kötőanyag tényező összefüggése ebben az esetben – tehát a XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok kivételével – víz/(cement + 0,4·pernye + 1,0·szilikapor), a pernye/cement ≤ 0,33 és a szilikapor/cement ≤ 0,11 tömegarány feltétel egyidejű teljesülése mellett. Ha esetleg ennél több pernyét alkalmaznak, akkor a többlet pernye-tartalmat nem szabad a módosított víz-cement tényező kiszámításánál figyelembe venni.

A pórusvíz kellő lúgos kémhatásának biztosításához – a pernye/cement ≤ 0,33 és a szilikapor/cement ≤ 0,11 tömegarány egyidejű teljesülése mellett – teljesülnie kell

- CEM I jelű portlandcement esetén:
  a pernye/cement ≤ 3·(0,22 – szilikapor/cement) tömegarány;
- CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S-T, S-LL, T-LL), CEM II/B-M (S-T) jelű portlandcement és CEM III/A jelű kohósalakcement esetén:
  a pernye/cement ≤ 3·(0,15 – szilikapor/cement) tömegarány

feltételnek. Egyéb cementek esetén a pernye és a szilikapor együttes alkalmazása nem megengedett.

Tehát a pórusvíz lúgosságának érdekében a savanyú pernye és a szilikapor együttes mennyisége nem haladhat meg egy bizonyos értéket. Ha csökkentjük a szilikapor mennyiségét, akkor növelhetjük a pernye adagolást és fordítva, a pernye/cement ≤ 0,33 és a szilikapor/cement ≤ 0,11 tömegarány adta határokon belül.

Például CEM I jelű portlandcement esetén:

- ha a cement-tartalomra vonatkoztatott szilikapor-tartalom tömegarány: szilikapor/cement = 0,11, akkor a megengedett pernyetartalom tömegarány: pernye/cement ≤ 0,33;
- ha azonban a szilikapor-tartalom tömegarány csak: szilikapor/cement = 0,08, akkor a megengedett pernyetartalom tömegarány: pernye/cement ≤ 3·(0,22 – 0,08) = 3·0,14 = 0,42, azaz pernye/cement ≤ 0,42, tehát több, mint az előző esetben.

Például CEM II-S, CEM II-T, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S-T, S-LL, T-LL), CEM II/B-M (S-T) jelű portlandcement és CEM III/A jelű kohósalakcement esetén:

- ha a cementtartalomra vonatkoztatott szilikapor-tartalom tömegarány: szilikapor/cement = 0,11, akkor a megengedett pernyetartalom tömegarány: pernye/cement ≤ 3·(0,15 – 0,11) = 3·0,04 = 0,12, azaz csak pernye/cement ≤ 0,12, tehát kevesebb, mint a CEM I jelű cement esetén volt;
- ha azonban a szilikapor-tartalom tömegarány csak: szilikapor/cement = 0,08, akkor a megengedett pernyetartalom tömegarány: pernye/cement ≤ 3·(0,15 – 0,08) = 3·0,07 = 0,21, azaz pernye/cement ≤ 0,21, tehát több, mint az előző esetben, de kevesebb, mint a CEM I esetén.

A DIN 1045-2:2008 szabvány F.2.2 táblázatának megjegyzése szerint az XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok esetén a cementtartalom csökkentésére és a megengedett legnagyobb víz-cement tényező módosítására csak a pernyetartalom vehető figyelembe, de szilikapor és pernye kiegészítőanyag együttes alkalmazása során még a pernyetartalom sem.

Magyarán az XF2 és az XF4 környezeti osztályban a pernyén kívül más II. típusú (aktív) kiegészítőanyagot is szabad alkalmazni, de szilikapor és pernye együttes alkalmazása során a *17. táblázatban* szereplő megengedett víz-cement tényező nem növelhető és a megkövetelt cementadagolás nem csökkenthető.

A mikroszilikát nem csak por alakban (szilikapor), hanem jobb kezelhetősége érdekében *vizes szuszpenzió* (mikroszilika szuszpenzió), esetleg *sűrítmény* (szilikapor sűrítmény, németül: Silicastaub in kompaktierter Form) alakjában is forgalmazzák. A ***vizes mikroszilika szuszpenzió*** szilikapor-tartalma 50 tömeg%, adagolása a cementtartalomra vonatkoztatott legfeljebb 22 tömeg%. A szuszpenzió víztartalma a víz-cement tényezőt kedvezőtlenül befolyásolja, ezért a víz-cement tényezőt a szuszpenzió víztartalmával módosítani kell.

A mikroszilika szuszpenziót, ha kiülepedésre hajlamos, közvetlenül a betonba keverés előtt kellő mértékben homogenizálni kell.

A ***szilikapor sűrítmény*** halmazsűrűsége 0,50 – 0,65 g/cm^3. Alkalmazni csak akkor szabad, ha a sűrítmény halmazsűrűsége ismert, és ha a betonba történő egyenletes eloszlatása biztosított. A szilikapor sűrítményt – különösen mészkőliszt-tartalmú keverék esetén – a finom homok nélküli adalékanyaggal szárazon elő kell keverni.

20.1.2. Nanoszilika

A mikroszilikánál is finomabb a nanoszilika, amely mesterségesen előállított, igen finom és nagy tisztaságú amorf kovasav. Szilícium-dioxid-tartalma közel 100 tömeg%, átlagos szemnagysága a szilikapor szemnagyságának mintegy tizede, mintegy 15 nm (~0,015 μm). *BET* szerinti fajlagos felülete mintegy 180 – 230 m^2/g, tehát a szilikaporénak mintegy tízszerese.

Puccolános tulajdonsága a szilikaporéhoz hasonló. Alkalmazásával a cementpép vízmegkötő képessége növekszik, a cementkő szerkezete tömörebb lesz, a nanoszilika részecskék a pórusokat messze menően kitöltik, a hézagtérfogat csökken, a cementkő és az adalékanyag közötti felületi kapcsolat javul.

Por vagy polimerdiszperzió alakban használatos. A betontechnológiában vizes kolloid oldat alakjában MSZ EN 934-2:2002 szerinti stabilizáló adalékszerként alkalmazzák, amelynek nanoszilika-tartalma mintegy 40 tömeg%, sűrűsége mintegy 1,3 g/cm^3, adagolása a cement tömegére vett 0,2 – 5,0 tömeg%. Fő alkalmazási területe a tartós, nagy szilárdságú, vízzáró, agresszív hatásoknak ellenálló betonok készítése. A nanoszilika-tartalmú stabilizáló adalékszert a cement és a víz adagolása előtt az adalékanyaggal mindig össze kell keverni. Az adalékszer dugattyús és centrifugál szivattyúval nem szállítható.

A nagy fajlagos felület folytán a puccolános aktivitás megnő. Kísérletek szerint a nanoszilika és a $Ca(OH)_2$ homogén vizes keverékében 24 óra alatt olyan nagy arányban képződik kalcium-szilikát-hidrát (C-H-S) fázis, hogy ez a keverék önálló kötőanyagnak tekinthető. Ezzel szemben a kalcium-szilikát-hidrát (C-H-S) fázis képződéshez szilikapor, $Ca(OH)_2$ és víz keveréke esetén több napra, esetleg egy hétre van szükség; a durva őrlésű kvarcliszt, $Ca(OH)_2$ és víz keverékében pedig hőkezelés nélkül nem lép fel kémiai reakció. (*Benedix* 2008)

20.1.3. Savanyú pernye

A savanyú pernye a kőszéntüzelésű erőművek, a bázikus pernye a barnaszéntüzelésű erőművek portalanító berendezéseiben összegyűjtött szilárd égési maradék, amelyet elektrofilter-pernyének is neveznek. A pernye (porszénhamú) főbb alkotói a szén éghetetlen ásványi összetevői, így amorf kovasav, agyag, vas-oxid, és kis mennyiségben mész. Tulajdonságai nagyrészt a szén minőségétől és égetési körülményeitől függenek, és ez jelenik meg a 2,0-2,4 g/cm^3 közötti testsűrűségben is. A korszerű 1100-1300 °C hőmérsékletű égetés során keletkező pernye általában kevesebb hasznos amorf összetevőt tartalmaz, mint a ma már ritkán alkalmazott 1500-1700 °C hőmérsékletű égetés során keletkező pernye. Az irodalom általában a *kőszénpernye* (savanyú pernye) betontechnológiai hasznosítását tárgyalja, következésképpen megállapításai is ezekre a pernyékre vonatkoznak, a *barnaszénpernyére* (bázikus pernye) sokkal kevesebb adat található.

A betonhoz keverhető pernyék követelménye az MSZ EN 450-1:2013 szabványban található.

A pernye MSZ EN 451-1:2004 szabvány szerint meghatározott szabad mész (CaO) tartalma ne legyen 1,0 tömeg%-nál több, de elfogadható akkor is, ha legfeljebb 2,5 tömeg%, feltéve, hogy a 30 tömeg% pernyét és 70 tömeg% referencia cementet tartalmazó pépen, az MSZ EN 196-3:2005+A1:2009 szabvány szerinti *Le Chatelier* módszerrel meghatározott duzzadás – a *Le Chatelier* gyűrű tűhegyei közötti távolság növekedése – a vizsgálat alatt nem nagyobb, mint 10 mm. Az ilyen pernye a savanyú pernyék fajtájába tartozik.

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerint a cement főalkotórészeként (kiegészítőanyagként) alkalmazott pernye MSZ EN 451-1:2004 szabvány szerint meghatározott reakcióképes mésztartalma ne legyen több, mint 10 tömeg%. A pernye MSZ EN 196-2:2005 szerint meghatározott reakcióképes szilícium-dioxid (SiO_2) tartalma legalább 25 tömeg% legyen. Az MSZ EN 196-2:2005 szerint meghatározott szilícium-dioxid (SiO_2), alumínium-oxid (Al_2O_3) és vas(III)-oxid (Fe_2O_3) tartalmának összege legalább 70 tömeg% kell legyen, nátrium-oxid egyenértéke legfeljebb 5 tömeg%, magnézium-oxid (MgO) tartalma legfeljebb 4 tömeg%, foszfor(V)-oxid (P_2O_5) tartalma legfeljebb 100 mg/kg lehet.

Az MSZ EN 450-1:2013 szabvány szerint a pernyének a 0,045 mm lyukbőségű szitán, az MSZ EN 451-2:1998 szabvány szerint vizes szitálással meghatározott fennmaradt mennyisége ne legyen (40±10) tömeg%-nál (N osztály) vagy (12±10) tömeg%-nál (S osztály) több. Szemnagysága általában 0,001 mm és 0,2 mm közé esik. *Blaine*-féle fajlagos felülete 2400-6000 cm^2/g.

A pernye anyagsűrűsége 2,2-2,5 g/cm^3, halmazsűrűsége 900-1100 kg/m^3.

A pernyében az el nem égett szénmaradékot azzal a követelménnyel korlátozzák, hogy az MSZ EN 196-2:2005 szabvány szerinti 1 órás izzítási veszteség nem lehet több, mint 5 tömeg% (*A* osztály), illetve 2-7 tömeg% (*B* osztály) vagy 4-9 tömeg% (*C* osztály) között kell legyen. A szénmaradék az adalékszereket adszorbeálhatja, ezért az adalékszer szükséglet megnőhet, a légbuborékos beton előállítása nehezebbé válhat, a vízigény megnőhet.

Az MSZ EN 196-2:2005 szabvány szerint meghatározott kloridion (Cl^-) tartalom megengedett mennyisége legfeljebb 0,1 tömeg%, a szulfition (SO_3^{2-}) tartalom megengedett mennyisége legfeljebb 3,0 tömeg%.

A 75 tömeg% cementtel és 25 tömeg% pernyével készített szabványos habarcs minta nyomószilárdságának és az ugyanolyan korú, 100 tömeg%-ban cement kötőanyaggal készített szabványos habarcs minta nyomószilárdságának hányadosát százalékban kifejezve aktivitási jelzőszámnak nevezik. Az MSZ EN 450-1:2013 szabvány szerint a 28 napos pernyés habarcs aktivitási jelzőszáma legalább 75 %, a 90 napos korúé legalább 85 % legyen.

A legjobb pernyék az *S* és az *A* osztályba tartoznak, és aktivitási jelzőszámuk a felhasználásukkal készített habarcsok 90 napos korában akár közel 100 % is lehet.

A gömb alakú pernye szemek megkönnyítik a beton bedolgozhatóságát. Ezért a pernyét általában nem szokták megőrölni, hanem a durva szemeket szélosztályozással távolítják el. A cementnél gyakran sokkal finomabb pernye a beton tömörségét és szilárdságát is növelheti, különösen, ha ún. finompernye, amelynek legalább 95 tömeg%-a 0,02 mm, vagy a 0,01 mm alatti méretű szemekből áll. Az ilyen finompernyét elsősorban nagyszilárdságú beton készítéséhez lehet használni.

A puccolános reakció folytán a betonok kapillárisai eltömődnek, pórusszerkezete finomabbá és tömörebbé válik, ami a beton tartósságára kedvezően hat A pernyés beton elektrolit-ellenállása jelentősen megnő, klorid-diffúziós és a karbonátosodásért felelős szén-dioxid-diffúziós áteresztőképessége – a tisztán cementtel készített betonéhoz – képest lecsökken. A pernyés beton szulfátállósága jobb, a pernye az alkáli reakció veszélyét csökkentve a cement alkáliáinak egy részét is megköti. (*Springenschmid* 2007)

A pernye kiegészítőanyaggal készített beton a tisztán cement kötőanyagú betonhoz képest lassabban szilárdul és az első hetekben a fagyra is érzékenyebb. Minthogy a pernye hidratációs hőfejlesztése az első napokban csekély, ezért a beton hajlama is csekély a korai repedésképződésre. A pernyebeton lassúbb szilárdulását a megfelelő utókezelés hatása, illetve a nagyobb végszilárdság kiegyenlítheti.

Németországban öt évesnél idősebb útbeton pályából kifúrt magmintákon nyomószilárdság, fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot végeztek, és megállapították, hogy a pernyebeton tulajdonságai a pernye adagolás nélküli beton tulajdonságaival azonosak. Laboratóriumi kísérletekkel azt is igazolták, hogy a kőszénpernye-tartalmú útbetonok nagy tartósságúak, a pernye adagolás gazdaságos és környezetkímélő megoldás (*Skarabis – Gehlen* 2009).

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 5.2.5.2.2. szakasza szerint a *k*-érték elve szerinti módosított víz-cement tényező számítása során figyelembe vehető legnagyobb pernyemennyiség a pernye/cement ≤ 0,33 tömegarány követelményből adódik. Ha nagyobb mennyiségű pernyét használnak, akkor a többletet nem szabad figyelembe venni a víz/(cement + *k*·pernye) tényező számításához és a legkisebb cementtartalomban. A pernye kiegészítőanyag beszámítását a kötőanyag-tartalomba CEM I 32,5 cementfajta alkalmazása esetén *k* = 0,2, CEM I 42,5 és CEM I 52,5 cementfajta alkalmazása esetén *k* = 0,4 értékkel engedik meg. A megfelelő környezeti osztály esetén a megengedett legkisebb cementtartalomra vonatkozó követelményt legfeljebb *k*·(legkisebb cementtartalom – 200 kg/m^3) mennyiséggel szabad csökkenteni, de a (cement + pernye) mennyisége ne legyen kevesebb, mint a környezeti osztályban előírt legkisebb cementtartalom.

A *k*-érték elvének az alkalmazása az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 5.2.5.2.2. szakasza szerint nem ajánlatos pernye és szulfátálló CEM I cement kombinációja esetén az XA2 és XA3 környezeti osztályban, ha az agresszív hatóanyag szulfát.

A savanyú pernye és a szilikapor kiegészítőanyag együttes alkalmazásának és a víz-kötőanyag tényezőben való számításbavételének feltételeit a *20.1.1. szakaszban* tárgyaltuk.

20.1.4. Metakaolin

A metakaolint poralakban a kaolinit természetes agyagásványból állítják elő (450-800) °C közötti hőbontással. A metakaolin fő összetevői a SiO_2 (51-55 tömeg%) és az Al_2O_3 (40-42 tömeg%), és kisebb mennyiségben az Fe_2O_3 (0,5-4,5 tömeg%), TiO_2, K_2O, CaO (0,10-0,35 tömeg%), MgO és Na_2O. Átlagos szemnagysága (1-5) µm, fajlagos felülete (10-179 m^2/g, anyagsűrűsége mintegy 2,5 g/cm^3.

Betonba keverve az alit (trikalcium-szilikát klinkerásvány) hidratációjára hat, és finomságánál fogva a szilikaporhoz hasonlóan viselkedik, de puccolános reakcióképessége annak kétszerese. Javítja a beton savállóságát, és világosabb színt kölcsönöz a betonnak. A cement 5-15 tömeg%-át metakaolinnal helyettesítve növekszik a beton nyomószilárdsága, kisebb mértékben a hajlító-húzószilárdsága, tűzállósága, csökken az áteresztő képessége és a kivirágzási hajlama, továbbá megnő fagy- és olvasztósó-állósága, sav- és szulfátállósága, valamint alkáli szilikát reakcióval szembeni ellenállóképessége.

20.1.5. Természetes tufa, puccolán, trasz

Régóta ismert, hogy a vulkáni eredetű tufák, amelyeket a Nápoly közeli Pozzuoli község környéki előfordulásról természetes puccolánoknak is neveznek, és sajátos szilárdulási képességüket puccolános tulajdonságnak mondják, megőrölve aktív beton kiegészítőanyagok. Önmagukban nem szilárdulnak, mert meszet alig tartalmaznak, de a mészhidrátokkal, így a cement hidratációja során keletkező kalcium-hidroxidokkal is, megszilárduló hidratációs termékeket képeznek.

A trasz természetes, savanyú, puccolános, feldolgozott tufa, amelyet – a tufa reakcióképességét növelve finomra őrléssel állítanak elő –, és amelyet vagy cement főalkotórészként vagy kiegészítőanyagként alkalmaznak.

A DIN 51043:1979 szabvány szerint a trasz beton kiegészítőanyag szilícium-dioxid (SiO_2) tartalma 50-75 tömeg%, alumínium-oxid (Al_2O_3) tartalma 10-25 tömeg%, kalcium-oxid (CaO) és magnézium-oxid (MgO) együttes tartalma kevesebb, mint 15 tömeg%, alkáli (Na_2O + K_2O) tartalma kevesebb, mint 10 tömeg%, izzítási vesztesége legfeljebb 12 tömeg%, szulfit (SO_3) tartalma legfeljebb 1,0 tömeg%, szén-dioxid (CO_2) tartalma legfeljebb 7,0 tömeg%, klorid (Cl) tartalma legfeljebb 0,1 tömeg%. Az izzítási veszteséget és a szén-dioxid-tartalmat (105 ± 5) °C hőfokon kiszárított traszon, az összes többi tulajdonságot (1000 ± 25) °C hőfokon kiizzított traszon kell meghatározni.

A trasz kiegészítőanyag *Blaine*-féle fajlagos felülete legalább 5000 cm^2/g legyen. Anyagsűrűsége 2,4-2,6 g/cm^3, halmazsűrűsége 700-1000 kg/m^3.

A 0,8:0,2:1,5 trasz:mészhidrát:(szabványos homok) tömeg keverési arányú, 0,45 víz-kötőanyag tényezőjű, 4 napos korig nedvesen, azután 28 napos korig víz alatt tárolt hasáb el kell érje az 5 N/mm^2 nyomószilárdságot.

20.1.6. Őrölt granulált kohósalak, kohósalakliszt

A nyersvas gyártása során a nagyolvasztóban az ércek nem fémes összetevőiből ún. kohósalak képződik, amely természetes körülmények között lassan hűl le, kristályos állapotú, nincs gyengén hidraulikus tulajdonsága, és darabos kohósalakkőként vagy megtörve, vagy zúzottkőként hasznosítható építési célra, ha beépítés előtt hosszú ideig (több hónapig) pihentetik. Ha a még az izzón-folyó (mintegy 1430 °C hőmérsékletű) kohósalakot külön eljárással, bepermetezett vízzel hirtelen lehűtik (ezt granulálásnak is nevezik) és a keletkezett granulátumot víztelenítik, majd megőrlik, akkor az őrölt granulált kohósalakot, az ún. kohósalaklisztet – mint II. típusú, reakcióképes beton kiegészítőanyagot – kapják. A korszerű

nedves granulálási eljárások többnyire 95-100 %-ban üveg fázisú, azaz amorf kohósalak granulátumot eredményeznek, mert a gyors lehűlés folytán kristályok képződésére nincs idő.

A kohósalakliszt anyagsűrűsége mintegy 2,9 g/cm^3, *Blaine* szerinti fajlagos felülete 275-550 m^2/kg, átlagos szemnagysága 4-8 μm.

Ha a kohósalaklisztet önmagában vízzel összekeverjük, akkor a kohósalaklisztnek csak kis hányada oldódik, és a reakció nagyon gyorsan leáll, mert a kohósalakliszt szemek felületén képződő hidratációs termék réteg a további víz hozzájutást és reakciót megakadályozza. Gerjesztő (aktiváló) anyag jelenlétében a reakció nem lassul le.

A gyengén (rejtett, latens) hidraulikus kohósalakliszt hidratációjához gerjesztő anyagra van szükség, amelynek szerepét mindenek előtt a klinker, a szulfátok, a kalcium-hidroxid, vagy esetleg más lúgos anyagok, mint például az alkáli-hidroxid, alkáli-karbonát vagy vízüveg tölti be. A gerjesztő anyag részt vehet a reakcióban, de katalizátorként is működhet, azaz a reakciót úgy is gyorsíthatja, hogy a reakciótermékbe nem épül be.

A lúgos gerjesztés elsősorban a reakcióba még nem lépett kohósalakliszt (Hüttensandglas) hidratációját (oldhatóságát) befolyásolja. A lúgosan gerjesztő anyagok bevitele növeli a kohósalakliszt hidratációját (oldhatóságát), és javítja a kohósalakliszt reakcióképességét. A lúgos gerjesztők három csoportba oszthatók:

– gyenge savak alkáli sói (a szilikátokon kívül), például: nátrium-karbonát, nátrium-fluorid;
– alkáli szilikátok, például vízüveg (nátrium-metaszilikát: Na_2SiO_3), vízüveg nátriumfluoro-szilikát alakban;
– alkáli-hidroxidok.

A kalcium-hidroxidot szintén lúgos gerjesztőnek tekintik, nemcsak katalizátor, de a hidratációban is részt vesz. Ennél a reakciónál a portlandcement hidratációhoz hasonlóan kalciumszilikát-hidrát fázisok és kalciumaluminát-hidrátok (például C_4AH_{13}) képződnek.

A kohósalakliszt reakciója szulfáttartalmú vegyülettel, például kalcium-szulfáttal is létrejön, miközben ettringit, kalciumszilikát-hidrát fázisok és alumínium-hidroxid keletkezik. Kizárólagos szulfáthatásra a reakció sebessége lassú, amely lúgos gerjesztők hozzáadásával lényegesen gyorsítható.

A kohósalakliszt a hidratáció kezdetén elsősorban a szulfátos gerjesztés, a kötés végén túlnyomórészt a lúgos gerjesztés hatása alatt áll. A cementkő pórusvizének lúgossága a kötési folyamat kezdetén mindig jelen lévő szabad kalcium-hidroxid következtében legalább pH = 12,5 értékű. A hidratáció korai szakaszában a cementkőnek a kötésszabályozóként adagolt kalcium-szulfátból (gipsz) és a klinker alkáli-szulfát fázisaiból adódóan nagy a szulfátion-tartalma. A szulfátok a kötés alatt kalcium-aluminát-szulfát-hidrátok (ettringit és monoszulfát) képződése közben megkötődnek, aminek következtében a szulfát-ion-koncentráció csökken. Egyidejűleg a hidroxid-ionok mennyisége és a pH-érték növekszik. A kötés végén a pórusvíz lényegében alkáli- és hidroxid-ionokat tartalmaz, a pH-értéke 13-14 között fekszik.

A kohósalakliszt reakcióképessége nagy mértékben függ a klinker tulajdonságaitól. Irodalmi közlések (DAfStb-Heft 569:2007) szerint a kis C_3A-tartalmú klinker alit-tartalmának növekedésével növekszik a kohósalakliszt reakció-sebessége és a cement nyomószilárdsága, míg nagy C_3A-tartalmú klinker esetén a jelenség fordított. Növekvő kohósalakliszt-tartalomhoz általában kisebb nyomószilárdság tartozik. A korai (2 nap utáni) szilárdságot jelentősen befolyásolja a kohósalakliszt tulajdonsága, de 28 nap után a nyomószilárdság elsősorban a klinker tulajdonságaitól függ.

Különösen a hosszú ideje tárolt granulált kohósalakok tulajdonságát jelentősen befolyásolja a CO_2- és a H_2O-tartalom is. A hosszú ideje tárolt, nagy CO_2- és a H_2O-tartalmú granulált kohósalak azonban látszólag könnyebben őrölhető, mivel a granulált kohósalak szemek vékony karbonátosodott és hidratálódott peremtartományának gyors kopása viszonylag gyorsan nagy *Blaine*-féle felületet mutat. Ha azonban az azonos *Blaine*-féle felületű frissen és öregen őrölt kohósalaklisztet összehasonlítják, kitűnik, hogy az öregen őrölt kohósalakliszt jelentősen durvább, és ez a beton használati értékében is megmutatkozik.

A granulált kohósalakliszt tulajdonságaira hatással van a TiO_2-tartalom is, amely a kohóban a tűzállófalazat védelmét szolgáló acélszerelvények jellemzőinek függvénye. Már 1,5 tömeg% titán-dioxid-tartalom esetén is sokkal kisebb a kohósalakliszt kémiai aktivitása. (DAfStb-Heft 569:2007)

A beton ellenállása a *kloridion behatolással* szemben csökkenő víz-cement tényező és növekvő kohósalakliszt-tartalom esetén – a cementkő növekvő tömörsége és diffúziós ellenállása folytán – jelentősen növekszik. A diffúziós ellenállás már 30 tömeg% kohósalakliszt-tartalom mellett lényegesen javul. A kloridion-tartalom mintegy 40 tömeg% kohósalakliszt-tartalom és 0,50 értékű víz-cement tényező mellett olyan mértékben csökken, mint 60-80 tömeg% kohósalakliszt-tartalommal és 0,66 értékű víz-cement tényezővel. Emellett a kohósalakliszt-tartalmú cementek a tiszta portlandcementnél több kloridot képesek megkötni.

A kohósalakliszt növeli a beton *szulfátállóságát*. A kohósalakliszt hidratációja során olyan tömör szövetű C_3S-hidrát fázisok képződnek, amelyek mind a másodlagos ettringit és gipsz képződés okozta *duzzadásos betonkorrózió*, mind az általában 15 °C hőmérséklet alatt esetleg fellépő *taumazit* képződés okozta szulfátkorrózió ellen is védelmet nyújtanak. A kohósalakliszt a betonnak a jobb szulfátállóság mellett jobb korrózióállósággal is biztosít, ezért alkalmazása minden olyan helyen javasolható, ahol nem, vagy nem csak szulfáthatás, hanem *szerves vegyületek* hatására kémiai korrózió is felléphet.

Német kísérletek során azt tapasztalták (DAfStb-Heft 569:2007), hogy húsz éven át *szénsavban* tárolt portlandcement-betonok károsodása kétszer akkora, mint azonos körülmények között a kohósalakcement-betonok károsodása. A cementfajta hatása jelentősebb volt, mint a víz-cement tényezőé. Másik kísérletnél a *kénsavban* tárolt, CEM III jelű kohósalakcementtel készült nagyteljesítményű beton korróziójának mélysége csak mintegy 65 %-a volt a CEM I–HS jelű szulfátálló portlandcementtel készült beton korróziós mélységének. CEM III jelű kohósalakcement alkalmazása esetén a beton szilárdság csökkenése is kisebb. A kohósalakliszt tehát javítja a beton *savállóságát*, és ez a hatás bizonyára akkor is fennáll, ha a kohósalakliszt kiegészítőanyagként kerül a betonba.

A kohósalakliszt növeli a beton karbonátosodását.

A kohósalakliszt kiegészítőanyag követelményei az MSZ EN 15167-1:2007 szabványban találhatók. Összetételét legalább kétharmad részben kalcium-oxid (CaO), magnézium-oxid (MgO) és szilícium-dioxid (SiO_2) kell kitegye. A (CaO + MgO)/SiO_2 arány nagyobb kell legyen 1,0-nél. Összes őrlési segédanyag-tartalma 1,0 tömeg%-nál, szerves őrlési segédanyag-tartalma 0,2 tömeg%-nál kisebb kell legyen. Magnézium-oxid (MgO) tartalma legfeljebb 18 tömeg%, szulfid (S) tartalma legfeljebb 2,0 tömeg%, szulfát (SO_4) tartalma legfeljebb 2,5 tömeg%, izzítási vesztesége legfeljebb 3,0 tömeg%, klorid (Cl) tartalma legfeljebb 0,1 tömeg%, nedvesség-tartalma legfeljebb 1,0 tömeg% lehet. *Blaine*-féle fajlagos felülete legalább 275 m^2/kg. Szabványos habarcson összehasonlító vizsgálatot végezve a kohósalakliszt a kötésidő kezdetét legfeljebb 50 %-kal növelheti meg. Az aktivitási jelzőszáma 7 napos korban legalább 45 %, 28 napos korban legalább 70 % legyen. A kohósalaklisztnek nem szabad az egészségre és a környezetre káros anyagokat tartalmaznia, és nem lehetnek radioaktívak.

A kohósalakliszt beton kiegészítőanyagkénti alkalmazásának előnye a kohósalak-portlandcement, illetve a kohósalakcement alkalmazásához képest, hogy:

- nagyon rugalmasan lehet a kötőanyag-tartalmat összeállítani;
- a külön őrlés előnyei kihasználhatók.

A kohósalakliszt beton kiegészítőanyagkénti alkalmazásának hátránya, hogy:

- a CEM I portlandcement és a kohósalak őrlemény szemmegoszlása, valamint gipsztartalma optimálisan nem hangolható össze;
- ha a granulált kohósalak őrlése nem a betonüzemben történik, akkor az őrlési finomsággal nem lehet a kötőanyag tulajdonságokat befolyásolni. (DAfStb, Heft 569:2007)

20.2. INERT (I. TÍPUSÚ) KIEGÉSZÍTŐANYAGOK

Az I. típusú inert kiegészítőanyagok a cementtel és a vízzel nem lépnek reakcióba, azokat elsősorban tömítő hatásuk miatt alkalmazzák. A beton kötését és szilárdulását gyakorlatilag nem befolyásolják, fizikai szerepüknél fogva a szilárdulási folyamatra gyakorolt hatásuk a II. típusú kiegészítőanyagok ilyen hatásához képest elhanyagolható. Ide tartoznak a finomra őrölt kőlisztek (EN 12620), mint a mészkőliszt és a kvarcliszt. A kőlisztet adott esetben a finom anyagban szegény betonhoz keverik a bedolgozhatóság, a szemmegoszlás és a beton tömörségének a javítása céljából.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány a kőliszt féleségek között nem tesz különbséget. A szabvány szerint a kőliszt 70-100 tömeg%-ának a 0,063 mm nyílású, 85-100 tömeg%-ának a 0,125 mm nyílású és 100 tömeg%-ának a 2,0 mm nyílású szitán át kell hullania. A szemnagyság vizsgálatát az MSZ EN 933-10:2009 szerinti légsugaras szitálással kell végezni. A kőlisztek szennyeződéseit ugyan úgy kell vizsgálni, mint a durvább kőanyaghalmazok szennyeződéseit.

Fontos a kőliszt agyag- és iszapmentessége, mert az agyag- és iszaptartalom az adalékanyag vízigényét növeli és a beton fagyállóságát rontja.

A töltőanyagként használt kőlisztek tulajdonságait Németországban a TL Gestein-StB 04 (2004/2007) szállítási feltételekben szabályozták. Eszerint vizsgálni kell például az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabványban is megkövetelt szemmegoszlás teljesülését, a metilénkék-értéket, a nedvesség-tartalmat (követelmény $\leq$ 1,0 tömeg%), a vízoldhatóságot (követelmény $\leq$ 10 tömeg%, illetve WS_{10} osztály), a kalcium-hidroxid-tartalmat (követelmény $\geq$ 25 tömeg%, $\geq$ 20 tömeg%, $\geq$ 10 tömeg%, illetve Ka_{25}, Ka_{20}, Ka_{10} osztály). A vizsgálatokat a TP Gestein-StB (2008) német előírás szerint kell végezni.

A TL Beton-StB 07 (2007) német szállítási feltételek szerint a beton finom részének tömege, amely a cement és 0,25 mm alatti kőanyag szemek tömegének összege, nem lehet több, mint 450 kg/(bedolgozott friss beton m^3), illetve, ha a legnagyobb szemnagyság 8 mm, akkor 500 kg/m^3. Ez a határérték a kimosott felületű betonburkolatok adalékanyaga esetén túlléphető.

20.2.1. Mészkőliszt

A mészkő őrlésével előállított mészkőliszt – bár nagyon kis, elhanyagolható mértékben reagál a cementtel – inert kiegészítőanyag.

A beton adalékanyagként alkalmazott, 2 mm-nél finomabb kőlisztek (töltőanyagok), – így a mészkőliszt – szemmegoszlása meg kell feleljen az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 7. táblázatában megadott követelménynek. Az MSZ EN 933-10:2009 szabvány szerint vizsgálva, a 0,125 mm nyílású szitán átesett mennyiség legalább 85 tömeg%, a 0,063 mm nyílású szitán átesett mennyiség legalább 70 tömeg% kell legyen.

Ha a mészkőliszt cement-kiegészítőanyag (főalkotórész), akkor *Blaine*-féle fajlagos felülete legalább 3500 cm^2/g, anyagsűrűsége 2,6-2,7 g/cm^3, halmazsűrűsége 1000-1300 kg/m^3.

A kőlisztek – beleértve a mészkőlisztet is – káros hatását az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány D. szerint a homokegyenérték vizsgálat (MSZ EN 933-8:2000) vagy a metilénkék vizsgálat (MSZ EN 933-9:2009) eredménye alapján kell megítélni.

A kőlisztek savban oldható kéntartalmát és teljes kéntartalmát az MSZ EN 1744-1 szabvány szerint kell meghatározni. A savban oldható kéntartalom vasbetonban történő alkalmazás esetén ne legyen több, mint 0,8 tömeg% ($AS_{0,8}$ osztály), feszített vasbetonban való alkalmazás esetén, mint 0,2 tömeg% ($AS_{0,2}$ osztály). A teljes kéntartalom legfeljebb 1,0 tömeg% lehet.

Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány 6.4.1. szakaszában előírják, hogy ha a kőliszt olyan arányban tartalmaz szerves vagy más anyagot, hogy az módosítja a beton kötési és szilárdulási idejét, akkor az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.3 szakasza szerint meg kell vizsgálni a hatást a kötésidőre és a nyomószilárdságra. A módosító hatás nem növelheti a habarcs próbatestek kötésidejét 120 percnél jobban, és nem csökkentheti 28 napos korban a habarcs próbatestek nyomószilárdságát 20 %-nál nagyobb mértékben. A szerves anyag (humusz) jelenlétét az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.1. szakasza szerint kell meghatározni. Ha az eredmény nagy humusztartalmat mutat, a fulvosavak jelenlétét az MSZ EN 1744-1:2010 szabvány 15.2. szakasza szerint kell megvizsgálni. Ha a felszínen levő folyadék világosabb, mint a szabványos színek, akkor a kőlisztet szerves anyagoktól mentesnek lehet tekinteni.

A mészkőliszt fagyállóságra gyakorolt hatását legjobb habarcshasábon vizsgálni.

A TL Gestein-StB 04 (2004/2007) német szállítási feltételek szerint a mészkőliszt kalcium-karbonát-tartalma legalább 90 tömeg%, 80 tömeg% vagy 70 tömeg% kell legyen, és eszerint a megfelelő CC_{90}, CC_{80}, CC_{70} osztályba kell sorolni.

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány 5.2.6. szakasza azt írja elő, hogy a cement főalkotórészét (kiegészítőanyagát) képező mészkőliszt kalcium-oxid-tartalomból számított kalcium-karbonát-tartalma legalább 75 tömeg% kell legyen.

A cement-főalkotórész mészkőliszt metilénkék értéke legfeljebb 1,2 tömeg% lehet, és azt mintegy 5000 cm^2/g fajlagos felületű őrleményen, az MSZ EN 933-9:2009 szabvány szerint kell megvizsgálni.

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány 5.2.6. szakasza szerint a mészkőliszt szerves anyagban kötött összes széntartalma (TOC, Total organic carbon) legfeljebb 0,2 tömeg% (az ilyen mészkőliszt jele *LL*), illetve legfeljebb 0,5 tömeg% (ennek jele *L*) lehet. A hazánkban gyártott és forgalmazott cementekben lévő mészkőlisztek általában kielégítik az *LL* minőséget. A TOC-tartalmat az MSZ EN 13639:2003 szabvány szerint kell meghatározni. A szabvány referencia-módszert és három egyenértékű alternatív módszert ad meg. Vitás esetben a nedves oxidációs referencia-módszert kell alkalmazni.

A mészkőliszt szerves anyagban kötött széntartalmának eredetéről *Vendl Aladár* (1953) írta: „A szerves lények lágyabb részei az ülepedéskor és közvetlenül azután, még mielőtt vastagon befedődnének újabb üledékkel, rendesen oxidáció következtében szilárd maradék nélkül elbomlanak. Csak különös körülmények közt, ha oxigén nem jut hozzájuk, elegendő mennyiségben, halmozódnak fel nagyobb mennyiségben. Kezdetben itt is oxidáció megy végbe: a szerves anyagok szén és hidrogén-tartalma szén-dioxiddá és vízzé oxidálódik. Ezután oxigénmentesen folynak le a diagenezis (üledékek kőzetté alakulása) folyamatai. Anaerob (csak oxigén hiányában szaporodóképes) baktériumok hatására a megmaradt szén és hidrogén szénvegyületeket képez."

Az MSZ EN 197-1:2011 szabvány készítői a szerves anyagban kötött széntartalom korlátozása során feltehetőleg arra gondoltak, hogy a betonban nem célszerű a szervesanyag-tartalmat növelni, mert az a cement kötését lassíthatja, megakadályozhatja. A mészkőlisztben esetleg előforduló szerves anyagban kötött szén égetésen nem esett át, és ezért különbözik a pernyében lévő el nem égett széntől, amely a pernyének akár a 3-4 tömeg%-át is elérheti. Ha a pernye a cement főalkotórésze, akkor a pernye széntartalmát az izzítási veszteség legfeljebb 5,0 tömeg%-os felső határértékével korlátozzák.

A mészkőliszt az öntömörödő beton jelentős összetevője.

20.2.2. Kvarcliszt

A kvarcliszt inert kiegészítőanyag, amelyet tisztára mosott kvarchomok őrlésével állítanak elő.

Anyagsűrűsége mintegy 2,65 g/cm^3, halmazsűrűsége 1300-1500 kg/m^3. A 0,25 mm alá őrölt kvarcliszt *Blaine*-féle fajlagos felülete 1700 cm^2/g, a 0,1 mm alá őrölt kvarcliszté 3000 cm^2/g, a 0,063 mm alá őrölt kvarcliszté 4000 cm^2/g, a 0,012 mm alá őrölt kvarcliszté 5500 cm^2/g.

Voltaképpen – összetételén kívül – geometriai, fizikai, kémiai tulajdonságaira az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány követelményei vonatkoznak.

20.2.3. Pigmentek

A beton színezésére általában a színtartó és időjárástűrő szervetlen pigmenteket, így a vasoxid, krómoxid, titándioxid vagy kobalt-alumíniumoxid pigmenteket és keverékeit használják. A leggyakrabban használt vasoxid pigment alapszínei a piros, a sárga és a fekete, keverék színei például a homokszín, a narancs, a barna. A krómoxid pigmenttel a betont zöldre lehet színezni. A titándioxid pigment a szürke és más színű, továbbá a fehér cementtel készített betont világosabbá teszi. A kobalt-alumíniumoxid pigment kék színt ad a betonnak.

A megfelelő színhatás érdekében a pigmenteket legalább tízszer, hússzor finomabbra kell őrölni, mint a cementet, ami a beton vízigényét megnöveli, és a légbuborékos beton készítését megnehezíti. Világos színeket csak fehér cementtel lehet elérni. A fekete, barna, piros és sárga árnyalatok előállítása könnyebb és olcsóbb, mint a kék és zöld árnyalatoké. A kevéssé alkáli-álló ultramarin kék pigment – ellentétben a kobalt-alumíniumoxid kékkel – idővel úgy elhalványulhat, hogy a beton szinte kifehéredik.

A pigmentek általában por vagy folyadék alakjában kerülnek forgalomba, újabban granulátumként és kompakt-pigmentként is kaphatók. A por alakú pigmentek hátránya, hogy porzanak, nehezen adagolhatók, csomósodásra hajlamosak. A folyékony pigmenteket vízben diszpergálják, ezek esetén meg kell akadályozni, hogy hosszabb tárolás alatt ülepedjenek, és ezáltal egyenletességüket elveszítsék. A folyékony pigmentek víztartalmát a keverővíz adagolás során figyelembe kell venni. A legkönnyebben a granulátum alakú pigmentek adagolhatók, mert pneumatikus szállításuk és adagolásuk is megoldott, automatikusan mérlegelhetők, pormentesek, ömleszthetők. A kompakt-pigmentek átmenetet képeznek a pigment-porok és a granulátumok között. Nem pormentesek, de csökkent porzásúak, viszonylag jól ömleszthetők, külön erre a célra kifejlesztett berendezéssel jól adagolhatók, pneumatikusan is szállíthatók. Áruk a granulátumokénál mérsékeltebb.

A beton színbeállításához mindig próbakeverést kell végezni, és próbatesteket kell készíteni. Számítani kell arra, hogy a konzisztencia a színárnyalatra hatással van.

A betonkeverés során a pigmenteket teljesen egyenletesen el kell oszlatni. A por alakú pigmentet először az adalékanyaggal összekeverni, a keverési idő legalább 30 másodperc vagy több, amennyi a pigment szemek feltöredezéséhez és egyenletes eloszlatásához kell. A cementet csak ezután, majd mintegy 30 másodperc múlva a vizet kell a keverékhez adni.

A folyadék alakú pigmenttel óvatosan kell bánni, mert a cement vagy a száraz és nedvszívó adalékanyag kiszívhatja belőle a vizet, és a pigment összecsomósodhat, az adalékanyag szemekhez tapadhat, a szilárd beton pedig foltos lesz. Ilyen esetben a folyékony pigmentet a keverés végén, közvetlenül a vízadagolás után, illetve az adalékszerrel kell a betonhoz keverni. Ezt azért lehet megtenni, mert a folyékony pigmentben a pigment szemek már fel vannak töredezve, tehát az adalékanyag ütő-dörzsölő munkáját ehhez nem kell igénybe venni. A folyékony pigmentet a mixer gépkocsi keverődobjában is be lehet a betonba keverni.

A pigmentek kötés és szilárdság befolyásoló, valamint acélbetét korróziós hatásának kiküszöbölése érdekében be kell tartani az MSZ EN 12878:2005 szabvány előírásait. A pigment a szilárd színezőanyagra vonatkoztatva legfeljebb 5 tömeg% diszpergálószert, kötőanyagot és őrlést elősegítő anyagot tartalmazhat. Vasbetont csak olyan pigmenttel szabad színezni, amelynek vízoldható anyagtartalma legfeljebb 0,5 tömeg%, összes kloridion-tartalma legfeljebb 0,1 tömeg%. A szabvány korábbi változata (2000) vasalatlan beton esetén is korlátozta a pigment víz oldható anyagtartalmát és kloridion-tartalmát, a vízoldható anyagtartalom legfeljebb 5 tömeg% lehetett. Ugyancsak a korábbi szabványváltozatban állt, hogy a pigment adagolásnak legfeljebb 10 %-kal szabad a beton nyomószilárdságát csökkentenie. Ezeknek a követelményeknek ma is érdemes eleget tenni. (*Springenschmid* 2007 és *Weber* 2006, 2007)

A cement kötőanyagú, színes próbatest színjellemzőinek meghatározásra az MSZ EN 12878:2005 szabvány tartalmaz módszert. A színvizsgálathoz segítséget nyújthat az MSZ 18290-3:1981 szabvány, amelyet az építési kőanyagok színösszetevőinek meghatározására dolgoztak ki. A meghatározott színösszetevőkből a színjellemzőket és a színjellemzőkből származtatott mennyiségeket, például a színkülönbséget stb. kell kiszámítani. A színmérés fogalmairól az MSZ 9620-3:1990 szabványból lehet tájékozódni. (*Lukács* 1971)


Georg Rothfuchs

BETONFIBEL

Ratgeber für die Herstellung
von Beton und Betonsteinerzeugnissen

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN
BAUVERLAG GMBH · WIESBADEN

1958.

21. ADALÉKSZEREK

Mind a friss, mind a megszilárdult beton tulajdonságai különleges rendeltetésű építőipari vegyi anyagokkal, ún. adalékszerekkel befolyásolhatók. Az adalékszerek folyékonyak vagy poralakúak, kémiailag és/vagy fizikailag hatnak, főhatásuk mellett mellékhatásuk is van, amely az alkalmazás szempontjából káros is lehet.

Az adalékszerek viszonylag kis mennyiségben fejtik ki hatásukat, adagolásuk felső határa beton és vasbeton esetén a cementtartalomra vetített 5 tömeg%, többféle adalékszer alkalmazása esetén összesen 6 tömeg%. Feszített vasbeton esetén az adalékszer adagolás felső határa a cementtartalomra vett 2 tömeg%. A 2 tömeg%-nál kisebb adagolás akkor megengedett, ha az adalékszert a keverővíz egy részében feloldják. Nagyszilárdságú betonba legfeljebb a cementtartalomra vett 7 tömeg%, többféle adalékszer alkalmazása esetén összesen legfeljebb 8 tömeg% adalékszert szabad adagolni.

Az adalékszerek ne károsítsák a betont (például a nagy alkáli-tartalmú adalékszer és az erre érzékeny adalékanyag egymásra hatásából alkáli reakció jöhet létre). Vasbeton vagy feszített vasbeton, és acélszál-erősítésű beton készítése esetén csak kloridmentes adalékszert szabad alkalmazni. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint az adalékszer akkor kloridmentes, ha a halogén elemek mennyisége (a fluort kivéve) az adalékszerben kloridion egyenértékben számolva legfeljebb 0,2 tömeg% vasbeton szerkezet esetén, és legfeljebb 0,1 tömeg% feszített vasbeton szerkezet esetén; illetve az adalékszer megengedett legnagyobb adagjának kétszeresét alapul véve a betonba a cementre számítva legfeljebb 0,002 tömeg%, azaz legfeljebb 2 g Cl^- /(100 kg cement) kloridion kerül. A kloridmentes adalékszer német jelölése gyakran „OC”: ohne Clorid.

Az adalékszereknek az alkalmazott cementtel, és többféle adalékszer alkalmazása esetén egymással való összeférhetőségét igazolni kell.

Bármilyen adalékszert csak akkor szabad használni, ha az adalékszerrel alkalmassági vizsgálat is készült, és csak úgy, ahogy azt már a betonkeverék tervezésénél figyelembe vették.

A folyékony adalékszerek víztartalmát a víz-cement tényező (folyadék-cement tényező) számításánál figyelembe kell venni, és ennyivel csökkenteni kell a tényleges vízadagolást, ha az eléri a 3 liter/(beton m^3) értéket.

A betontechnológiában alkalmazható legfontosabb adalékszerek, amelyekkel könyvünkben részletesebben foglalkozunk, a következők:

- képlékenyítő adalékszerek,
- folyósító adalékszerek,
- kötéskésleltető (kötéslassító),
- kötés-, illetve szilárdulásgyorsító adalékszerek,
- légbuborékképző adalékszerek,
- vízzáróságfokozó (tömítő) adalékszerek,
- stabilizáló adalékszerek,
- injektálást segítő adalékszerek,
- adalékszerek lövellt betonhoz.

A betonadalékszerek mintavételére és megfelelőség-ellenőrzésére vonatkozó előírások az MSZ EN 934-6:2002 szabványban, a minőségi követelmények a harmonizált MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szabványban találhatók. A MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szabvány annyival bővebb az elődjénél (MSZ EN 934-2:2009), hogy a szétosztályozódást csökkentő, viszkozitást módosító adalékszerekkel is foglalkozik. A feszítőbetét csatornák injektálását segítő adalékszerekkel az MSZ EN 934-4:2009 szabvány, a lövellt betonok

adalékszereivel az MSZ EN 934-5:2008 szabvány foglalkozik. Általános követelmények az egyenletesség, szín, hatékony alkotórészek, folyékony adalékszer relatív sűrűsége, és szárazanyag-tartalma, pH-érték, kötésre gyakorolt hatás, összes és vízoldható kloridion-tartalom, alkáli egyenérték, korróziós viselkedés. A vizsgálatokat az MSZ EN 480 szabványsorozat szerint kell végezni.

Az alkalmazás során az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.1.5. adalékszerekre vonatkozó szakasza szerint kell eljárni.

21.1. Képlékenyítő adalékszerek

A képlékenyítőszerek gyakorlatilag a betonépítés minden területén (például transzportbeton, korai állékonyságú ún. zöldbeton, vízzáróbeton, zúzottkőbeton, szivattyús beton, tömegbeton) alkalmazhatók. Csökkentik a beton vízigényét, ezáltal javítják a bedolgozhatóságát, illetve a vízmegtakarítás folytán azonos cementtartalom mellett növelik a beton szilárdságát.

A legtöbb képlékenyítőszer lignin-szulfonsav sója, vagy polimer-féleség, például akril-fenolglikoléter bázisú szer. A képlékenyítőszerek csökkentik a víz felületi feszültségét, miáltal a beton szilárd alkotórészei jobban benedvesíthetőek, és a vízfilm vastagsága csökken. Elősegítik a cement finom eloszlatását (diszpergálódását), így homogénebbé teszik a cementpépet, csökkentik a szilárd betonalkotók közötti súrlódást, és javítják a bedolgozhatóságot. A vízfilm vastagság csökkenésének köszönhetően lecsökken a kivérzési hajlam, és a szétosztályozódás veszélye a friss beton szállítása és bedolgozása közben.

Ha a friss beton bedolgozhatósága képlékenyítőszer nélkül is megfelelő, akkor alkalmazásával, azonos bedolgozhatóság mellett a vízadagolás mintegy (5-15) tömegszázalékkal csökkenthető, így azonos cementtartalom esetén a víz-cement tényező lecsökken, vagy a víz-cement tényező változatlanul tartása mellett a cementtartalom válik csökkenthetővé.

A kisebb vízadagolás következtében azonos bedolgozhatóság mellett szilárdabb, tömörebb, kisebb áteresztőképességű, kisebb vízfelvételű, tartósabb lesz a beton. A csökkentett víz-cement tényező és/vagy cementtartalom kedvezően befolyásolja a zsugorodást és a kúszást. A csökkentett cementtartalom folytán a tömegbetonok kevésbé melegszenek fel, kisebb belső feszültségek ébrednek.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a képlékenyítő adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított vízigény csökkenés, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 7 és 28 napos korban.

21.2. Folyósító adalékszerek

A folyósítószerek hatása a képlékenyítőszerek hatásának két-háromszorosa.

A folyósító adalékszereket általában vízcsökkentés és konzisztencia-javítás együttes céljával kell alkalmazni. Az ≥ S4, V4, ≥ F4 konzisztenciájú betont csak folyósító adalékszerrel szabad előállítani.

Az alkalmazandó folyósító adalékszer, illetve adalékszer kombináció kiválasztásánál figyelembe kell venni:

– a friss betonkeveréknek az adott körülmények (hőmérséklet, víz-cement tényező, cementfajta, szállítási távolság stb.) között megfelelő eltarthatóságát;
– a készítendő szerkezetbe történő minél jobb bedolgozhatóságot;
– a cementpép-tartalom csökkentésének megvalósítható legnagyobb mértékét, amely mellett a bedolgozhatóság nem romlik (előnyt jelent a stabilizálószerek vagy a stabilizálószerekkel kombinált folyósítószerek alkalmazása).

A folyósítószereknek hatóanyaguk szerint alapvetően több csoportját lehet megkülönböztetni:

- lignin-szulfonát bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1930). A lignin a cellulóz mellett a fák fő alkotója. A lignin-szulfonát modifikált természetes anyagnak tekinthető, a tömör betonok készítésének első folyósítószere. Várható vízcsökkentő hatása 5-10 %;
- glükoz bázisú adalékszerek (az első alkalmazás éve: 1940). Alkalmazása nem terjedt el;
- naftalin-formaldehid-szulfonát bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1970). A jelentősebb mértékben csökkentett víz-cement tényezőjű betonok első folyósítószere. Várható vízcsökkentő hatása 15-25 %;
- melamin-formaldehid-szulfonát bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1980). Folyós betonok készítésére alkalmas folyósítószer, amely nagy korai szilárdságot is eredményez. Várható vízcsökkentő hatása 12-20 %; A naftalin- vagy melamin-formaldehid-szulfonát bázisú adalékszerek adagolandó mennyisége a megfelelő folyósság eléréséhez a cementtartalomra vetítve 0,5 – 2,0 tömeg%.
- szulfonált-vinilkopolimer bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1990). A nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű), nagyszilárdságú, nagytömörségű (a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67) betonok első folyósítószere. Várható vízcsökkentő hatása 20-35 %. Nevezik szuper-folyósítószernek is;
- polikarboxilat bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 2000). Az öntömörödő betonok speciális adalékszere. Alkalmazásával a beton víz-kötőanyag tényezője különleges esetekben akár 0,22-nál is kisebb lehet. Nevezik szuper-folyósítószernek is, és nagy vízcsökkentő szerepe miatt neve angolul „water reducing admixture” (ASTM C494 / C494M – 12) is lehet.

A szuper-folyósítószerek hatásideje mintegy félóra. Ezért a friss beton gyors meghúzása miatt utóadagolásuk is megengedett. Sok esetben kombinálják a szuper-folyósítószerek adagolását a hagyományos folyósítószerével úgy, hogy a transzportbeton üzemben az alap-konzisztenciát hagyományos folyósítószerrel állítják be, és a szuper-folyósítószert csak az építéshelyen keverik a betonba a beépítési konzisztencia beállításának céljából. Kiegészítésképpen kötéslassítószer és légbuborékképzőszer alkalmazása is szükséges lehet.

A nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű), nagyszilárdságú betonok (a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67) előállítására szilikaporból és szuper-folyósítószerből álló poralakú kompozitok is beszerezhetők. A nagyszilárdságú betonok ismertetőjele a kis víz-kötőanyag tényező, ahol kötőanyag alatt a cement és a hidraulikus kiegészítőanyag összegét kell érteni. A víz-kötőanyag tényező (beleszámítva az adalékszer víztartalmát is) értéke általában kisebb, mint 0,36, különleges esetekben akár, mint 0,22. A portlandcementek ún. kémiai vízigénye 0,25-0,27 körüli. A 0,22 értékű víz-kötőanyag tényező alkalmazásánál a teljes hidratációhoz szükséges vizet később kell pótolni.

A szuper-folyósítószerrel készített friss nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű), nagyszilárdságú beton konzisztenciája általában önthető, mégis ragadós. A ragadósság csökkentésére olykor légbuborékképzőszert szoktak adagolni. Minthogy a szuper-folyósítószer hatásaként a beton általában gyorsan köt, a légbuborékképzőszer utóadagolása lehet szükséges.

A nagy kötőanyag-tartalom miatt előnyös, ha a friss nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű), nagyszilárdságú beton kis hőmérsékletű, és ezért célszerű lehet az adalékanyagot hűteni.

A nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű), nagyszilárdságú beton kémiai ellenállása nagyobb, jobban ellenáll az acélkorróziós hatásoknak és az erős mechanikai koptató igénybevételeknek.

Az ilyen beton utókezelése különösen fontos. Feltétlenül szükséges a beton utókezelését a bedolgozás után azonnal megkezdeni, hogy ne lépjenek repedések fel, és a beton tartóssága biztosított legyen.

A nagy használati értékű (nagy teljesítőképességű), nagyszilárdságú beton nagy érzékenysége miatt a szuper-folyósítószer mindenre kiterjedő alkalmassági vizsgálata nem engedhető el, amelyet erre akkreditált laboratórium kell nagy szakértelemmel végezzen.

Az alkalmassági vizsgálatnak az összeférhetőségre és a hatékonyságra is ki kell terjednie, ha nagy fagy- és olvasztósó-állóságú beton készítése céljából a folyósító adalékszert légbuborékképző adalékszerrel együtt alkalmazzák.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a folyósító adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított vízigény csökkenés, a referencia-betonhoz viszonyított konzisztencia változás és megtartás, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 1 és 28 napos korban.

21.3. Kötéskésleltető (kötéslassító) adalékszerek

A kötéskésleltetőszerek meghosszabbítják a beton bedolgozhatóságának idejét.

Főként foszfátokból és ezek sóiból, valamint szerves anyagokból, például oxikarbonsavak sóiból vagy glukonátokból készülnek. A kötéskésleltetőszerek fajtájuktól függően akadályozzák a cement gyorsan reagáló komponenseinek, például az aluminátoknak az oldódását, vagy a víznek a cementre való hatását, úgy hogy a hidratáció késleltetve megy végbe. A késleltetés magától a kötéskésleltetőszertől és a cement kémiai összetételétől függ, de hatással van rá a friss beton és a környezet hőmérséklete is.

Amíg a foszfátbázisú kötéskésleltetőszerek a kötés kezdetét és végét közel azonosan késleltetik, addig a szerves anyagok, különösen az oxikarbonsav és a glukonát bázisúak nem csak a kötés kezdetét, hanem oly módon változtatják meg a végét is, hogy a kötés kezdete és vége között eltelt idő tízszer is hosszabb lehet, mint kötéskésleltetőszer adagolása nélkül. Vannak szerves kötéskésleltetőszerek, amelyek a friss beton korai dermedését okozzák.

Kötéskésleltetőszert alkalmaznak például tömegbetonok készítése során, nagyobb építmények esetén a munkahézagok kiiktatására, vagy ha a bedolgozott friss beton utólagos alakváltozásnak lesz kitéve (például a mintaív vagy zsaluzat megereszkedése), vagy nagy hőmérsékleten történő betonozáskor, vagy a transzportbeton mixerek hosszú szállítási, illetve várakozási ideje esetén.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a kötéskésleltető adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított kötés idő, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 7 és 28 napos korban.

21.4. GYORSÍTÓ ADALÉKSZEREK

A gyorsító adalékszerek hatással vannak a cementhidratáció folyamatára, elősegítik a cementalkotók oltódását és a kristályképződést, és ezáltal gyorsítják a beton kötését és/vagy szilárdulását. A gyorsítóhatás nagyobb cement őrlésfinomság és klinkertartalom, kisebb víz-cement tényező, nagyobb hőmérséklet esetén erőteljesebb. Ha a gyorsító adalékszernek képlékenyítő mellékhatása van, és ezért csökkentjük a vízadagolást, akkor a beton végszilárdsága növekszik. A gyorsító adalékszerek többsége általában növeli a zsugorodást.

A gyorsító adalékszerek gyakran alkálikusan ható sókból, például nátrium-karbonátból, alkáli-aluminátból készülnek. Ez esetben az adalékanyag alkáli érzékenységét vizsgálni kell. Az újabb fejlesztések a környezetbarát, alkáli-mentes kötésgyorsítószerek felé fordulnak. Kloridtartalmú gyorsító adalékszereket vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezetek készítéséhez felhasználni tilos, mert acélkorróziót okoznak.

21.4.1. Kötésgyorsító adalékszerek

A kötésgyorsítószerek a beton képlékenyből szilárd állapotba való átmenetének kezdetét hozzák előbbre. A cement kötését és általában a beton korai szilárdságának kialakulását is gyorsítják, adott esetben kis hőmérsékleten is. Járulékos hatásként csökkenthetik a beton végszilárdságát. Kötésgyorsító adalékszerek alkalmazása esetén a betonkeverék bedolgozhatósága gyorsan romolhat. A friss betont kötésgyorsítószerrel csak mérsékelten lehet a káros fagyhatásoktól megvédeni. A gyors hidratációs hőfejlődés vastag falú betonszerkezetekben repedések keletkezését okozhatja.

Azok a kötésgyorsítószer-féleségek, amelyek a cement kötését néhány percre vagy másodpercre lecsökkentik, vízbetörések elfojtására, szivárgó vizek útjának elzárására, lövelltbeton eljáráshoz a visszahullás csökkentésére alkalmazhatók.

A kötésgyorsítás a kötésgyorsítószer fajtájától és alkalmazott mennyiségétől, a cement kémiai összetételétől, továbbá a friss beton és a környezet hőmérsékletétől függ. A túladagolás gyorsítás helyett a kötést késleltetheti.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a referencia-betonhoz viszonyított kötés idő kezdet 20 °C és 5 °C hőmérsékleten, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 28 és 90 napos korban.

21.4.2. Szilárdulásgyorsító adalékszerek

A szilárdulásgyorsítószerek a beton kezdeti szilárdulásának ütemét gyorsítják a kötés idő változtatásával vagy anélkül. A beton végszilárdságát nem, vagy csak kismértékben csökkentik.

A szilárdulásgyorsítószerekkel a kizsaluzási idő csökkenthető mind a monolit szerkezetek készítése, mind az előregyártás során. Kis hőmérsékleten való betonozáskor a korai szilárdság növelésére, téli betonozáskor a beton fagyállóságának mielőbbi elérésére alkalmazhatók.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a szilárdulásgyorsító adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 20 °C hőmérsékleten 24 órás és 28 napos, valamint 5 °C hőmérsékleten 48 órás korban.

21.5. LÉGBUBORÉKKÉPZŐ ADALÉKSZEREK

A légbuborékképzőszerek ritkán természetes fagyanták és vinsolgyanták vízoldható szappanaiból, de mivel ezek nehezen szerezhetők be, általában inkább tenzid alapú vagy más felület aktív tulajdonságú szintetikus szerves anyagokból készülnek.

A légbuborékképző adalékszerek mindenek előtt a legfeljebb 0,55 víz-cement tényezőjű beton fagy- és olvasztósó-állóságát növelik, ezért alkalmazásuk az XF2 – XF4 környezeti osztályokban, főképp pályabetonok építése során nélkülözhetetlen. Valamelyest képlékenyítenek, és csökkentik a vízigényt is. Légbuborék képző hatásuk a beton összetételétől, konzisztenciájától (víztartalmától), hőmérsékletétől, keverési módjától, a cement fajtájától, a légbuborékképző adalékszer hatékonyságától és mennyiségétől függ.

Különleges hatásuk abban áll, hogy a betonban igen nagyszámú, kisméretű (átmérőjük 0,01-0,50 mm) légbuborékot hoznak létre, amelyek közül a beton fagyállósága szempontjából a 0,01-0,30 mm átmérőjűek a hatékonyak. A friss betonba légbuborékképzőszerrel bevitt légbuborékok a megszilárdult betonban is megmaradnak. A beton megfagyásakor a kapillárisokból kiszorított víz egy részét felveszik, és a képződő jégkristály-nyomást levezetik. A kapillárisokban megfagyó víz kitágulásának teret adnak, a kapillárisok megszakításával csökkentik a vízfelszívást, ezáltal a beton jégkristály-nyomás okozta szétrepedezésének veszélye lecsökken. Hasonló jelenség játszódik le a kikristályosodó olvasztósó kristály-nyomásának semlegesítésekor is.

A betonban képzett légbuborékok általában csökkentik a beton szilárdságát, kivéve, ha a képlékenyítő hatást a víz-cement tényező csökkentésére használjuk. Ez azonban általában csak viszonylag csekély levegő-tartalom esetén lehetséges. A légbuborékképzőszer túladagolása a beton nyomószilárdságának jelentős csökkenését okozza. Szivattyús szállításkor a légbuborékos friss betonban lévő jelentős mennyiségű levegő összenyomódása folytán a betonszivattyú hatékony működése, a légbuborékos beton szivattyúzhatósága a szállítási távolságtól függő mértékben romlik.

A beton kémiai hatásokkal szembeni ellenállását légbuborékképzőszerrel nem lehet növelni. A légbuborékos beton kúszása mindig nagyobb, mint a légbuborékképzőszer nélkülié. Légbuborékképzőszer és képlékenyítő- vagy folyósítószer együttes alkalmazása során hatás-vizsgálattal meg kell győződni arról, hogy a légbuborékképzés a képlékenyítő- vagy folyósítószerben lévő habzásgátló ellenére szavatolható.

Powers, T. C. mind máig elfogadott elmélete szerint a jégkristály-nyomás a cementkőnek a légbuborék felületétől legfeljebb 0,25 mm-re lévő pontjaiban megszűnik (*Powers – Helmuth* 1953). Ezért a légbuborékos betonban az összes levegő mennyisége legalább 4 térfogat%, a képzett, hatékony légbuborékok távolsági tényezője (két szomszédos hatékony légbuborék pereme közötti legkisebb elméleti távolság fele) ≤ 0,22 mm kell legyen (MSZ 4798-1:2004).

A megszilárdult beton légbuborékrendszerének jellemzőit az MSZ EN 480-11:2006 szerinti módszerrel kell meghatározni.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 adalékszer termékszabvány szerinti követelmények a légbuborékképző adalékszerre a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a távolsági tényező a megszilárdult betonban, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 28 napos korban. Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 termékszabvány az MSZ 4798-1:2004 betonszabványnál annyiban szigorúbb, hogy német laboratóriumi kutatási eredmények alapján azt a légbuborékképző adalékszert tekinti megfelelőnek, amely a szilárd betonba ≤ 0,20 mm távolsági tényezőt hoz létre.

A légbuborékképzőszerek alkalmazása elsősorban beton útburkolatok, repülőtéri betonpályák esetén elengedhetetlen, a magas- és mélyépítési betonok fagyállósága légbuborékképzőszer nélkül is megoldható.

A kereskedelmi forgalomban lévő légbuborékképző adalékszerek alakjukat tekintve általában folyadékok, amelyekkel a megfelelő légbuborékos beton szövetszerkezet előállítása nem könnyű feladat. A folyékony légbuborékképző adalékszerek kiváltására fejlesztették ki a *belül üreges mikro-léggömböket* (németül Mikrohohlkugel). A mikro-léggömbök vékony műanyagfilmből állnak, átmérőjük 0,01-0,06 mm közé esik. A mikro-léggömbökből viszonylag nagy fagy- és olvasztósó-állósághoz elegendő a betonba 0,7-0,8 térfogat% mennyiséget adagolni, és azok kis méretüknél fogva nem okoznak nyomószilárdság csökkenést sem. Hosszabb beton keverési idő alatt a mikro-léggömbök némelyike megsérülhet, erre az adagolás során tekintettel kell lenni. A mikro-léggömbök képezte légbuborékok mennyisége a friss betonban nyomásmódszerrel (MSZ EN 12350-7:2009) nem mérhető.

A mikro-léggömbhalmaz kezelésének és betonba keverésének egyszerűsítésére a mikro-léggömbök vizes keverékét hozzák pép (*paszta*) alakban, műanyag zacskóban forgalomba. A *mikro-léggömbpép* alkalmazásának hátránya a magas anyagár. A többlet költséget kisebb betonmennyiségek, nehéz betonozási körülmények vagy tapasztalatlan betonozó személyzet esetén érdemes vállalni. A mikro-léggömbpép alkalmazása a száraz eljárású lövellt beton készítése során bevált, mert a rövid anyagkeveredési idő a légbuborék képződéshez hagyományos, folyékony légbuborékképző adalékszer alkalmazása esetén kevés (*Springenschmid* 2007).

21.6. Vízzáróságfokozó (tömítő) adalékszerek

A vízzáróságfokozó-szerek csökkentik a beton vízfelvételét és a víz betonba való behatolásának mélységét. A szilikát-tartalmú vízzáróságfokozó-szerek reakcióba lépnek a cement hidratációs termékeivel, aminek hatására kapillárporozitást csökkentő hidro-szilikátok keletkeznek. Ennek ellenére víznyomás hatására vízfelvétellel kell számolni. Alkalmazásuk feltétele, hogy a beton eleve vízzáró és kis vízfelvételű betonnak készüljön. Vízzáróságfokozó-szerrel nem lehet a rossz összetételű és rosszul tömörített betont vízzáróvá tenni. A vízzáróságfokozó-szerek növelhetik a beton levegő-tartalmát, ezáltal csökkenthetik a betonszilárdságot, és növelhetik a zsugorodást. A vízzáróságfokozó-szereket a mélyépítésben, a vízépítésben, és tartályok építése során szokás alkalmazni.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a vízzáróságfokozó adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított kapilláris vízfelszívás 7 napos utókezelést követően 7 napig és 90 napos utókezelést követően 28 napig vizsgálva, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 28 napos korban.

21.7. Stabilizáló adalékszerek

A stabilizálószerek diszpergáló hatású polimerek és megfelelő katalizátorok. A modifikálástól függően a stabilizálószerek valamelyest képlékenyítenek is.

A beton a stabilizálószer hatására kissé szívósabb és ragadósabb, de valamivel alakíthatóbb is lesz. Nagyobb adagolás és földnedvesebb konzisztencia esetén előnytelenül nagy ragadósság léphet fel.

A stabilizálószereket elsősorban a vízkiválás (kivérzés) csökkentésére adagolják a betonhoz, például kedvezőtlen adalékanyag szemmegoszlás esetén, könnyűbetonoknál a durva könnyű adalékanyag szemek felúszása ellen, vagy a szivattyúzott beton jobb összetartóképessége

érdekében. A stabilizálószer a lövelltbeton, a víz alatti betonozás, az öntömörödő beton adalékszere.

A betonadalékszerek szerves hatóanyagait a mikroorganizmusok megtámadhatják és lebonthatják, amiért az adalékszereket eltarthatóságuk érdekében csekély mennyiségű illó tartósítószerrel, leggyakrabban formaldehiddel és vegyületeivel (például melamin-szulfonátok vagy naftalin-szulfonátok esetén), fenolos vegyületekkel, izotiazol vegyületekkel stabilizálni szokták.

Az MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 szerinti követelmények a stabilizáló adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított vízkiválás, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegő-tartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 28 napos korban.

21.8. INJEKTÁLÁST SEGÍTŐ ADALÉKSZEREK

Az injektálást segítő adalékszerek képlékennyé teszik az injektáló anyagot, csökkentik a vízkiválást.

Hatóanyaga többnyire hidrogéngáz fejlesztő alumíniumpor. A gázképzőhatás csökkenő hőmérséklet mellett visszaesik, és függvénye a cement kémiai összetételének és korának is.

Az injektálást segítő adalékszereket általában a cementpép vagy cementhabarcs feszítőacél-csatornákba való sajtolásához, vagy egyéb üregek, repedések kitöltéséhez alkalmazzák. A fejlődő gáz a friss cementpépet, illetve cementhabarcsot megkeleszti, ezáltal az a feszítőacél és a csatorna közötti hézagot kitölti, és az injektáló anyag zsugorodása ellen hat.

Az MSZ EN 934-4:2009 szerinti követelmények az injektálást segítő adalékszerekre a folyási képesség, nyomószilárdság 28 napos korban, vízkiválás 3 órás korban, térfogatváltozás 24 órás korban.

21.9. ADALÉKSZEREK LÖVELLT BETONHOZ

A kifejezetten a lövellt betonhoz kifejlesztett adalékszerek követelményei az MSZ EN 934-5:2008 szabványban találhatók. A szabvány négyféle adalékszerre vonatkozó előírást tartalmaz: lövellt betonhoz való kötésgyorsító adalékszer, alkáli-mentes lővellt betonhoz való kötésgyorsító adalékszer, konzisztencia-szabályozó adalékszer, tapadást javító adalékszer.

A lövellt betonhoz való adalékszereket a lövés előtt vagy lövés közben adják a betonhoz, a cement tömegére vonatkoztatott legfeljebb 5 tömeg%, a lövellt betonhoz való kötésgyorsító adalékszer esetén legfeljebb 12 tömeg% mennyiségben. A követelmények az egyenletességre, színre, sűrűségre, száraz-anyag-tartalomra, pH-értékre, kloridtartalomra, alkáli-tartalomra, a referencia habarcs kötési idejére, konzisztenciájára, konzisztencia-tartására, nyomószilárdságára, tapadó-húzószilárdságára vonatkoznak.

22. BETONÉPÍTÉS FOLYAMATA

Az MSZ EN 13670:2010 európai szabványban általános követelményeket adnak a betonszerkezetek kivitelezésére. A szabvány mind a helyszíni munkákra, mind az előregyártott betonelemek beépítésére alkalmazható, de nem alkalmazható a termékszabványok szerinti előregyártott elemek készítésére. A betonozással kapcsolatos előírások az MSZ EN 13670:2010 szabvány 8. fejezetében és egy tájékoztató a betonozási munkákról a szabvány F mellékletében található.

A szerkezetépítés során teljesülniük kell a beton beépítési feltételeknek ahhoz, hogy a szilárd beton teljesíthesse az MSZ 4798-1:2004 szabványban megfogalmazott követelményeket, és a beton-, illetve vasbetonszerkezet tartós legyen. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.2.1. és 5.3.2. szakasza kimondja, hogy *a beton tartóssága érdekében a szabvány alapvető követelményein felül a szállítás, elhelyezés, tömörítés, érlelés és egyéb kezelés követelményeit is figyelembe kell venni*, amelyhez a szabvány 7.5.-7.7. szakaszban és az L mellékletben ad eligazítást. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7.5.-7.7. szakasza és L melléklete *Buday Tibor* kézirata alapján készült.

Hasonlóan az MSZ 4798-1:2004 szabvány L mellékletéhez, a beton beépítésével Ausztriában is egy, az európai betonszabványt (ÖNORM EN 206-1:2005) kiegészítő fejezetben (az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14. fejezetében) foglalkoznak. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.1 szakaszában hangsúlyozzák, hogy a beton beépítésért a kivitelező felel. A kivitelező a beton beépítéséhez megfelelő képesítésű és tapasztalatú irányító- és szakszemélyzetet kell alkalmazzon.

A betonépítéshez, illetve betonozáshoz *betontechnológiai tervet* (MSZ 13670:2010 szabvány 8.2. szakasza), illetve *betontechnológiai utasítást* (MSZ 4798-1:2004) kell készíteni. A betontechnológiai utasításra példákat az Olvasó e könyv 22.12. fejezetében talál. A betonépítéssel (betonozással) kapcsolatban az MSZ 4798-1:2004 szabvány előszavában a következőket olvashatjuk: Az MSZ 4798-1:2004 „szabvány meghatározza az előírók (tervező vagy építtető), a gyártók (betonkeverékek készítői), a betontechnológusok és a felhasználók (betonszerkezetek kivitelezői) feladatait. Például az előíró felelős a beton követelményeinek a megadásáért, a várható környezeti hatásoktól és az elvárt használati élettartamtól függően, a gyártó felelős a friss betonkeverék megfelelőségéért és a gyártásközi ellenőrzésért, a betontechnológus a betontervezés, a betontechnológia, a betonminőség megfelelőségéért, a betontechnológiai utasításért, míg a beton felhasználója (a kivitelező) felelős a betonszerkezet megfelelő minőségéért és a műszaki átadásért. A gyakorlatban a tervezés és a gyártási folyamat különböző szakaszaiban a különböző résztvevőknek a követelményeket egyeztetniük kell. Például az építtetőnek ellenőriznie kell, hogy a tervező a várható környezeti igénybevételeket, illetve hatásokat és a szerkezet használati élettartamát megfelelően határozta-e meg, az előíróknak illetve a kivitelezőnek a bedolgozási feltételek ismeretében kell előírnia a szükséges konzisztenciát a gyártó részére. Emellett minden résztvevő felelős azért, hogy a megállapított követelményeket – az esetleges kiegészítő követelményekkel együtt – továbbadja az építési folyamatban a sorban következőnek, a kivitelezőig, illetve az átvevőig (üzemeltetőig) bezárólag.”

22.1. A BETON ÖSSZETÉTELÉNEK TERVEZÉSE ÉS ELLENŐRZÉSE

Az előírók (tervező vagy építtető), a gyártók (betonkeverékek készítői), a betontechnológusok és a felhasználók (betonvásárlók, betonszerkezetek kivitelezői) betonépítést (betonozást) előkészítő legfőbb betontervezési és betonozást követő legfőbb ellenőrzési feladatai – a feladatok részletezése és felelőseinek megnevezése nélkül – lényegében a következők:

– Az MSZ EN 1990:2011 szabvány alapján meg kell határozni a szerkezet **tervezési élettartamát**, amely alatt a beton, vasbeton, feszített vasbeton szerkezetnek és a készítéséhez használt betonnak a terhelő erőkből és terhelő mozgásokból adódó igénybevételeket, valamint a környezeti hatásokat – üzemszerű használat és megfelelő karbantartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül – károsodás nélkül viselnie kell (*3. fejezet* és *1. táblázat*). A beton tervezési élettartamát a beton jelében fel kell tüntetni (*6. fejezet*).

– Mérlegelni kell azokat a betont károsító körülményeket, amelyek hatása alá a beton a tervezési élettartama alatt kerülhet, és a betont ennek megfelelő környezeti osztályba, illetve **környezeti osztályokba** kell sorolni (*8. fejezet* és *17. táblázat*). Több környezeti osztály esetén azokat társítva lehet a szükséges környezeti osztályt meghatározni (*8.2. fejezet*).

  Könyvünk *17. táblázatában* szereplő követelmények betartásával 50 évnyi beton használati élettartam várható, a táblázat értékei CEM I fajtájú 32,5 szilárdsági osztályú cementnek és a 20-32 mm legnagyobb névleges szemnagyságú adalékanyagnak a felhasználására vonatkoznak.

  Ha a tervezési élettartam eltér az 50 évtől, vagy ha nem CEM I 32,5 osztályú cementet, vagy nem 20-32 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyagot kívánnak a betonkeverékhez alkalmazni, akkor a felhasználható betonösszetételek és az elérendő betontulajdonságok meghatározását e kérdésben jártas szakértőre, illetve betontechnológusra kell bízni.

– Az **építmény szerkezeti osztályát** az erőtani méretezés során MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerint meg kell határozni. Jele a beton jelében nem szerepel, ismerete azonban ennek ellenére szükséges az építmény megvalósítói számára is, mert például az adalékanyag névleges legnagyobb megengedhető szemnagysága többek között a betonfedés függvénye, *a betonfedés szükséges mértékéről pedig a szerkezeti osztályok adnak tájékoztatást*. Ezért a tervezői műszaki leírásnak, a betontechnológiai előírásnak, illetve a beton megrendelő és szállítási dokumentumának a beton jelén kívül tartalmaznia kell a betont befogadó építmény szerkezeti osztályát (lásd könyvünk *4. fejezetét*).

  Az építmény szerkezeti osztálya a tervezési élettartam, a környezeti osztály és a betonszerkezet-gyártás (betonkészítés, betonacél szerelés, beton bedolgozás, tömörítés, utókezelés) minőségellenőrzése szintjének függvénye.

  Az MSZ 4798-1:2004 szabvány I mellékletében lévő NAD I1. táblázat az 50 év tervezési élettartamú betonokat S3 szerkezeti osztályúnak tekinti, és ezzel feltételezi, hogy a betonszerkezet-gyártás (betonkészítés, betonacél szerelés, beton bedolgozás, tömörítés, utókezelés) kiemelt szintű minőségellenőrzés mellett történik, vagy hogy a beton felületszerkezetbe kerül, (amikor a vasalás helyzetét nem befolyásolja az építési módszer), vagy az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb (lásd könyvünk *3.* és *4. táblázatát*).

Ha a kiemelt szintű minőségellenőrzés nem biztosítható, és a beton tervezési élettartama 50 vagy 100 év, akkor könyvünk *2. táblázata* szerinti szerkezeti osztályt, illetve betonfedést kell alkalmazni.

Ha a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű és a tervezési élettartam 50 év, akkor S4 (lásd könyvünk *2. táblázatát*); ha a minőségellenőrzés kiemelt szintű és a tervezési élettartam 100 év, akkor S5 (lásd könyvünk *4. táblázatát*), ha a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű és a tervezési élettartam 100 év, akkor S6 (lásd könyvünk *2. táblázatát*) az alkalmazandó szerkezeti osztály.

Ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály (*17. táblázat*) feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb, függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától, illetve, ha az erőtanilag szükséges nyomószilárdsági osztály – nem kettővel, hanem csak – egy osztállyal nagyobb, mint a környezeti hatás miatt szükséges *17. táblázatbeli* nyomószilárdsági osztály, és ez utóbbi friss beton 4 térfogat%-nál több légbuborékképző adalékszert tartalmaz, akkor a könyvünk *3. táblázata* szerinti szerkezeti osztályokat kell alkalmazni.

– Vasbeton és feszített vasbeton szerkezetbe kerülő beton esetén meg kell határozni a **betonfedést**, amely a vasszerelés (más szóval az összeszerelt vasalás, beleértve – ha vannak ilyenek – az összekötő vasalást, a kengyeleket és a kéregvasalást is) szélső pontja és a szerkezeti elem legközelebbi felülete közötti betonréteg vastagsága (könyvünk *5. fejezete*). A c_{min} előírt legkisebb betonfedés és a Δc_{dev} kötelező ráhagyás összege a c_{nom} előírt névleges betonfedés ($c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$). A terveken a névleges betonfedést kell feltüntetni.

  A c_{min} előírt legkisebb betonfedés az acélbetét tapadása miatt szükséges legkisebb betonfedés ($c_{min,b}$), a környezeti hatások miatt szükséges legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), illetve 10 mm közül a nagyobbik érték.

  Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány szerint az acélbetét tapadási követelmény miatt szükséges legkisebb betonfedés ($c_{min,b}$) nem lehet kisebb, mint a betonacél átmérője vagy a betonacél-köteg átmérője, illetve előfeszített betétek alkalmazása esetén a sima felületű feszítőhuzal vagy a pászma névleges átmérőjének másfélszerese vagy a rovátkolt felületű feszítőhuzal átmérőjének két és félszerese.

  Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány a környezeti hatások miatt a betonacél korrózióvédelme érdekében szükséges ($c_{min,dur}$) legkisebb betonfedéseket a különböző *környezeti osztályokra* a *szerkezeti osztályok* függvényében adja meg. Az előírt legkisebb $c_{min,dur}$ betonfedéseket betonacél esetére könyvünk *5. táblázata* és feszítőacél esetére a *6. táblázat* tartalmazza.

– Az MSZ EN 1990:2011 Eurocode, MSZ EN 1992-1-1:2010 és MSZ EN 1992-1-2:2010 Eurocode 2. szabvány előírásai alapján statikai, általában parciális tényezős (osztott biztonsági tényezős) méretezéssel meg kell határozni a **beton nyomószilárdságának tervezési értékét** (f_{cd}) és abból az $f_{cd} = f_{ck,cyl} \cdot \alpha_{cc}/\gamma_c$ összefüggéssel a beton nyomószilárdságának – kizsaluzás után végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas próbahengeren értelmezett – $f_{ck,cyl}$ **előírt jellemző értékét** (az Eurocode 2 szabványban „karakterisztikus érték”-nek nevezik). A képletben a γ_c a betonszilárdság parciális (biztonsági) tényezője teherbírási határállapotban, és α_{cc} a tartós szilárdság figyelembevételére szolgáló csökkentő tényező (*12.4.1. fejezet*). A nyomószilárdság jellemző értéke a 0,05 értékű (5 %-os) alulmaradási hányadhoz tartozó nyomószilárdság, amely lehet előírt érték és tapasztalati érték. Mint könyvünk *12.4. fejezetéből* kitűnik, a beton tétel akkor

megfelelő, ha a nyomószilárdság tapasztalati jellemző értéke ($f_{ck,cyl,test}$) nem kisebb, mint az előírt jellemző érték ($f_{ck,cyl} \leq f_{ck,cyl,test}$).

– A nyomószilárdság előírt jellemző értékéből ($f_{ck,cyl}$) *a nyomószilárdság 28 napos korú, Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett, előírt átlag értékét* ($f_{cm,cyl}$) az $f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + \lambda \cdot s$ összefüggéssel kell kiszámítani, ahol λ az alulmaradási tényező és s a szórás tervezéskor figyelembe veendő értéke.

Ugyanígy a nyomószilárdság tapasztalati jellemző értékét ($f_{ck,cyl,test}$) a nyomószilárdság 28 napos korú, Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren meghatározott, tapasztalati átlag értékéből ($f_{cm,cyl,test}$) az $f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - \lambda \cdot s$ összefüggéssel kell kiszámítani, ahol λ az alulmaradási tényező és s a tapasztalati szórás értéke.

A jellemző érték tehát a vizsgálati eredményeken kívül az **alulmaradási tényező** értékétől (λ) függ. A beton nyomószilárdságának előírt vagy tapasztalati jellemző értéke és előírt vagy tapasztalati átlag értéke kapcsolatának meghatározásához dönteni kell az alulmaradási tényező (λ) értéke felöl.

Az alulmaradási tényező az éppen meg nem felelő tétel átadása-visszautasítása valószínűségének a függvénye. Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 betonszabvány szerint a folyamatosan gyártott beton vizsgálati eredményeiből az éppen meg nem felelő tétel *70-30 %-os átadás-visszautasítási valószínűségének* feltételezésével, a λ_{15} = 1,48 *Taerwe*-féle alulmaradási tényezővel (*31. táblázat*) határozzák meg a nyomószilárdság jellemző értékét.

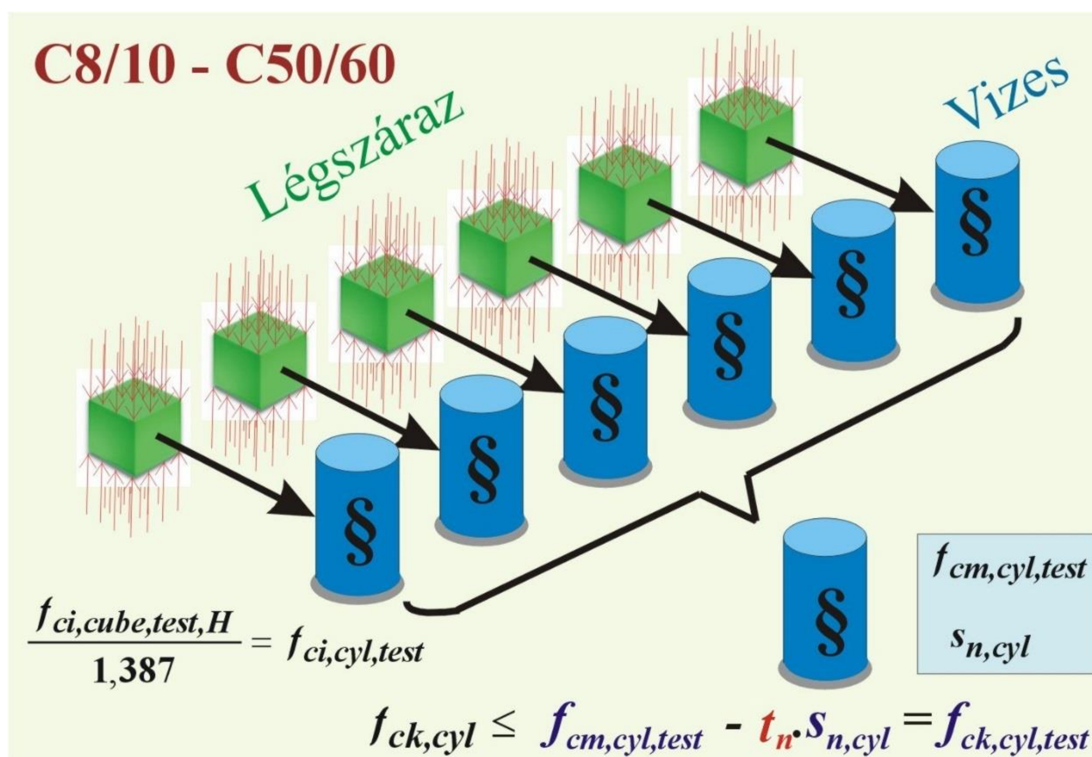
Szerkezeteink biztonsága szempontjából méltányolható az olyan módszer alkalmazása, amelyben az éppen meg nem felelő tétel átadásának, illetve visszautasításának kockázata egyformán oszlik meg az átadó és az átvevő között, tehát *kockázati arány 50-50 %*, különösképpen a *100 év tervezési élettartamú* építmények esetén. Ilyen esetben a nyomószilárdság jellemző értékét a t_n *Student*-féle alulmaradási tényező (*31. táblázat*) alkalmazásával kell kiszámítani, ahol n a vizsgált próbatestek száma (*32. táblázat*). A *33. táblázat* számpéldát tartalmaz a nyomószilárdság vizsgálati eredmények értékelésére 50 %-os elfogadási valószínűség mellett, a *Student*-tényező alkalmazásával (*12.4.3. fejezet*).

Aki a beton jellemző (karakterisztikus) értékét nem a *Student*-féle, hanem a *Taerwe*-féle alulmaradási tényezővel számolja ki, illetve a betont eszerint rendeli meg, és ilyen betont épít be, annak tisztában kell lennie azzal, hogy a *Taerwe*-féle alulmaradási tényezőket annak feltételezésével határozták meg, hogy a beton minőségét a gyártástól a beépítésen át az utókezelést is beleértve folyamatosan ellenőrzik, a friss beton – egyébként kifogástalan – beépítését folyamatosan nyomon követik, és azokon a szerkezeti helyeken, ahová olyan beton szállítmányt építettek be, amelyről a megszilárdult beton nyomószilárdság vizsgálata során kiderül, hogy nem megfelelő, azt utólagosan kicserélik, megerősítik, vagy más módon gyakorlati szempontból tökéletessé teszik. Ez a valóságban aligha történik meg, mert például a hibásnak bizonyuló autót ugyan vissza lehet rendelni a gyárba, de a szerkezetbe beépített beton hibás részeit nem igen lehet kicserélni.

Az alulmaradási tényező megválasztása ugyan elvi kérdés, de a beton átadása, illetve visszautasítása tekintetében az átadás-átvételi folyamat fontos gyakorlati kérdése, amelyben a betonépítés szerződéses feltételei között meg kell állapodni, és amelyet a beton megrendelésekor, illetve szállításakor a beton szabványos jelének megadása mellett a megrendelő, illetve szállítási dokumentumban fel kell tüntetni.

– Ha a 28 napos korú beton nyomószilárdságának laboratóriumi vizsgálata *nem* Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren történik, akkor a nyomószilárdság vizsgálat egyes mérési eredményeit ($f_{ci,test}$) a *31. ábra* (*12.3. fejezet*) képletei valamelyikével egyenként **feltétlenül célszerű és helyes átszámítani** a Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett nyomószilárdságra ($f_{ci,cyl,test}$). Csak a Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett egyes nyomószilárdságok ($f_{ci,cyl,test}$) értékelhetők az Eurocoddal konformisan, azaz képezhetik szabatos alapját a nyomószilárdság tapasztalati átlag értéke ($f_{cm,cyl,test}$) meghatározásának és a nyomószilárdság tapasztalati jellemző értéke ($f_{ck,cyl,test}$) kiszámításának (*53. ábra*) – ahogy az a *30. táblázat* számpéldájában látható, – valamint az egyéb méretezési feladatok elvégzésének (ugyanis az MSZ EN 206-1:2002 szabványban és az Eurocode 2 szabványokban minden szilárdsági, alakváltozási stb. feltétel a Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt, általában 28 napos próbahengerre vonatkozik).

Ha nem így járunk el, akkor előfordulhat, hogy a végig vízben tárolt 150 mm méretű próbakockák nyomószilárdságából számított nyomószilárdsági osztály másnak adódik, mint a Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengerhez tartozó nyomószilárdsági osztály. Különösen így van ez, ha a 150 mm méretű próbakockákat vegyesen tároljuk, és légszáraz állapotban vizsgáljuk.

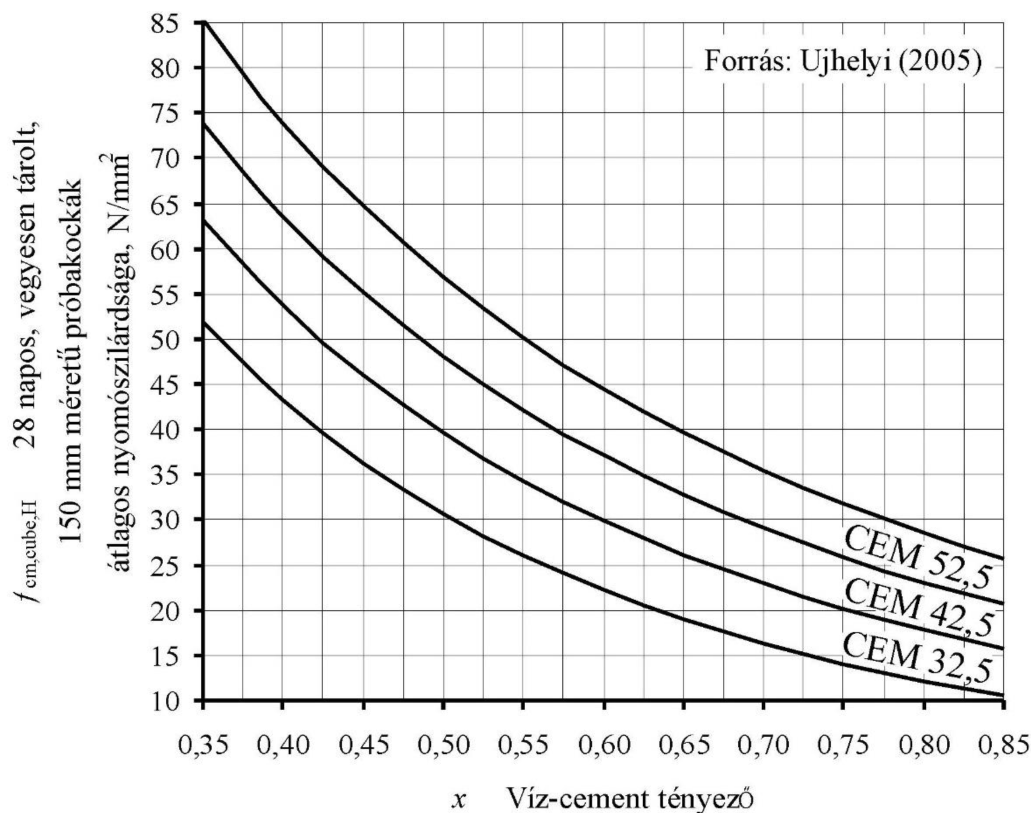


53. ábra: Akkor járunk el helyesen, az Eurocoddal konformisan, ha a Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett egyes nyomószilárdságokat ($f_{ci,cyl,test}$) értékeljük, ezért például a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockák nyomószilárdságát ($f_{ci,cube,test,H}$) egyenként át kell számítani a Ø150·300 mm méretű, végig víz alatt tárolt próbahengeren értelmezett nyomószilárdságra (lásd a *31. ábrát*). A nyomószilárdságnak ezt a szabatos vonatkoztatási alapját jelöltük az ábrán szimbolikusan § jellel.

– A beton tulajdonképpeni összetételének tervezésére különböző betontervezési módszerek ismeretesek, mint például a *Palotás*-féle módszer (1961, 1980) vagy

Ujhelyi eljárása (2005), vagy valamely külföldi számítási eljárás.

A tulajdonképpeni **betontervezés** során az ***Abrams*-féle víz-cement tényező** törvényből kell kiindulni, amely szerint a 28 napos beton átlagos nyomószilárdsága (f_{cm}) a víz-cement tényező (x) függvénye. Az *54. ábrán* a víz-cement tényezőnek, a 28 napos, vegyesen tárolt, 150 mm méretű próbakockák átlagos nyomószilárdságának ($f_{cm,cube,H}$) és a cement szilárdsági osztályának *Ujhelyi János*-féle (2005) tájékoztató összefüggését tüntettük fel. *Ujhelyi* a víz-cement tényező ábrával kapcsolatban hangsúlyozta, hogy az ilyen ábra készítésekor nem lehet minden változó körülményt (például a cementek eltérő ásványi összetételét, őrlésfinomságát, vízérzékenységét, az adalékanyag bányánkénti szilárdsági sajátságait, osztályozási élességét, szennyezettségét, vízigényét, a betonkeverő üzemek eltérő felszereltségét és felkészültségét stb.) figyelembe venni, ezért a víz-cement tényező ábra tájékoztató jellegű, amelyen a cementsávok esetenként átfedésben is lehetnek.



54. ábra: A víz-cement tényezőnek, a 28 napos, vegyesen tárolt, 150 mm méretű, homokos kavics adalékanyagú betonpróbakockák átlagos nyomószilárdságának ($f_{cm,cube,H}$) és a cement szilárdsági osztályának tájékoztató összefüggése *Ujhelyi* (2005) szerint. Az ábra görbéi határgörbék.

A víz-cement tényező ábrából olyan nyomószilárdság – víz-cement tényező értékpárt kell felvenni, hogy a beton mértékadó – tehát az erőtani számítás és a társított környezeti osztályok (*8.2. fejezet*) követelményének egyaránt megfelelő – nyomószilárdsági osztályához (*7.2. fejezet*) tartozó átlagos nyomószilárdságának (f_{cm}) követelménye és a társított környezeti osztályok (*8.2. fejezet*) víz-cement tényezőre (x) vonatkozó követelménye egyidejűleg teljesüljön. Ha az így meghatározott átlagos nyomószilárdsághoz és az alkalmazni szándékozott szilárdsági osztályú cementhez tartozó víz-cement tényező a társított környezeti osztályok megszabta határértéknél (*17. táblázat*) nagyobb, akkor a tervezett víz-cement tényezőt például kisebb

szilárdsági osztályú cement alkalmazásával csökkenthetjük a kívánt mértékűre (*54. ábra*).

Ha az f_{cm} átlagos nyomószilárdsághoz tartozó *x* víz-cement tényezővel a beton bedolgozása nehézségbe ütközik, akkor a beton konzisztenciáját **folyósító adalékszer** alkalmazásával kell képlékenyíteni, és semmi esetre sem a keverék vízadagolásának növelésével, mert ezzel a beton tervezett nyomószilárdságának elérését jóvátehetetlenül meghiúsítjuk.

- Az **adalékanyag névleges legnagyobb szemnagysága** (D_{max}) legfeljebb a névleges betonfedés (c_{nom}) kétharmada lehet. Ha valamilyen oknál fogva – például az adalékanyagváz hézagtérfogatának, azaz a cementpéptérfogat csökkentésének érdekében – az adalékanyag névleges legnagyobb szemnagyságát a névleges betonfedés (c_{nom}) kétharmadánál nagyobbra célszerű felvenni, akkor a betonfedést a névleges legnagyobb szemnagyság másfélszeresére kell növelni (5. *fejezet*).

  Hagyományos betontechnológiai tapasztalat, hogy az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának növelése változatlan vízadagolás mellett javítja a beton bedolgozhatóságát, változatlan bedolgozhatóság mellett csökkenti a vízigényt és növeli a beton nyomószilárdságát, változatlan bedolgozhatóság és nyomószilárdság mellett csökkenti a szükséges cementadagolást. Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága azonban egyszerű geometriai okok folytán nem növelhető korlátlanul. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a betonadalékanyag névleges legnagyobb szemnagysága nem lehet nagyobb, mint a következő négy adat közül a legkisebb:

  - a szerkezetrész legkisebb méretének egyharmada;
  - a névleges betonfedés (c_{nom}) kétharmada;
  - az acélbetétek, illetve feszítőacélok egymástól való legkisebb távolságának (a legkisebb szabad nyílásnak) kétharmada;
  - szivattyús betonszállítás esetén a szivattyúvezeték átmérőjének harmada.

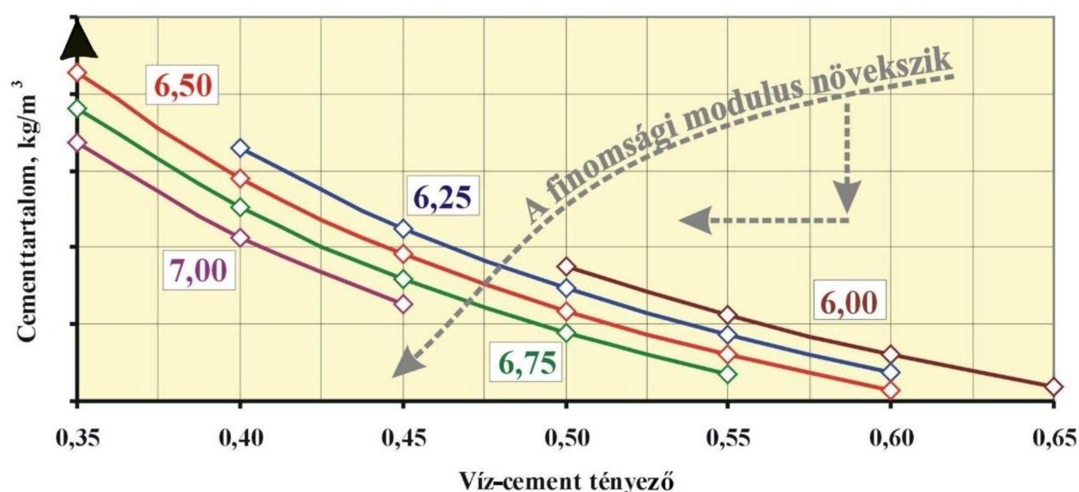
- Az adalékanyag legnagyobb szemnagyságához MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti szemmegoszlási határgörbék tartoznak, a szemmegoszlási határgörbét pedig számszerűen a finomsági modulus (m) jellemzi. A legfontosabb szemmegoszlási határgörbéket könyvünk M1. mellékletében az 57.-63. ábrán, azok finomsági modulusát a *69. táblázatban* is feltüntettük.

  A legnagyobb szemnagyság növekedésével a finomsági modulus általában növekszik, és nagyobb finomsági modulushoz általában kisebb optimális cementtartalom tartozik (*55. ábra*).

69. táblázat: A betonadalékanyag keverékek szemmegoszlási határgörbéinek finomsági modulusa az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint

Legnagyobb szemnagyság, mm	Szemmegoszlási határgörbe jele			Szemmegoszlási határgörbe ábraszáma
	A	B	C	
	Finomsági modulus			
8	5,70	4,90	4,30 (4,15 [1)])	*57. ábra*
12	6,15 (6,30 [2)])	5,30	4,65	*58. ábra*
16	6,60	5,60	4,80	*59. ábra*
24	7,10	6,00	5,10	*60. ábra*
32	7,55	6,35	5,40	*61. ábra*
48	7,85	6,65	5,55	*62. ábra*
63	8,20	7,00	5,80	*63. ábra*

Megjegyzés:
1) DIN 1045-2:2008 szabvány szerint javított $C_{javított}$ határgörbe finomsági modulusa (*57. ábra*)
2) ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szerint javított $A_{javított}$ határgörbe finomsági modulusa (*58. ábra*)



55. ábra: A víz-cement tényező, a cementtartalom és a finomsági modulus kapcsolatának jellege. A görbék elhelyezkedésére a cement szilárdsági osztályának, a beton konzisztenciájának, az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának stb. is hatása van

– A friss beton **vízigényét** ($M_{víz}$) a *70. táblázatból* a D_{max} legnagyobb szemnagyság ismeretében, az adalékanyag szemmegoszlása finomsági modulusának (m) és a beton konzisztenciájának felvétele után, ezek és az adalékanyag vízfelvétele függvényében becsülhetjük meg. A táblázatbeli finomsági modulusok közé eső finomsági modulus esetén a friss beton becsült víztartalma (legkedvezőbb vízadagolása) interpolálással határozható meg. A vízigény felvételéhez segítséget nyújthat az *56. ábra* is, amelyen a friss beton hozzávetőleges vízigénye szintén a legnagyobb szemnagysággal, a finomsági modulussal és a konzisztenciával áll függvénykapcsolatban.

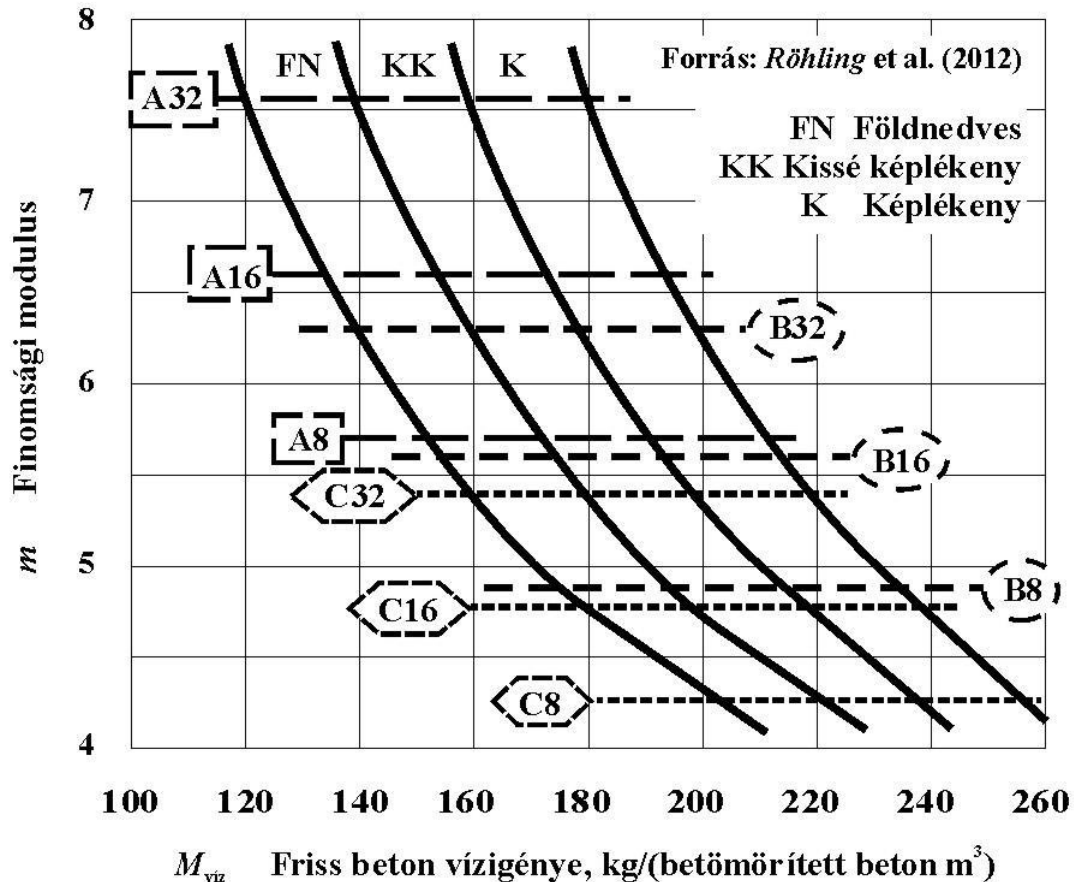
A betömörített friss beton **cementtartalmát** (M_c) az $M_{víz}$ víztartalom az x víz-cement tényező ismeretében az $M_c = M_{víz}/x$ összefüggéssel lehet kiszámítani. A meghatározott cementtartalom akkor fogadható el, ha kielégíti a társított környezeti osztály (*8.2. fejezet*) legkisebb cementtartalomra vonatkozó *17. táblázat* szerinti

követelményét. Ha a meghatározott cementtartalom e követelménynél sokkal nagyobb, akkor több mint célszerű például a tervezettnél nagyobb finomsági modulusú, vagy kisebb vízigényű adalékanyag alkalmazásával a cementtartalmat csökkenteni. Ebben és abban az esetben is, ha a meghatározott cementtartalom a környezeti osztályban megkövetelt értéknél kisebb, érdemes a finomsági modulus és a cementtartalom egymáshoz illő értékeit a társított környezeti osztály megkövetelte legkisebb cementtartalomból ($M_{c,min}$) kiindulva megkeresni.

A víz-cement tényezőhöz (x) és a társított környezeti osztály megkövetelte legkisebb cementtartalomhoz ($M_{c,min}$) tartozó vízigény (víztartalom $M_{víz} = x{\cdot}M_{c,min}$) kiszámítása után az éppen ennyi vizet igénylő beton – tervezett D_{max} legnagyobb szemnagyságú – adalékanyagának **finomsági modulusát** a *70. táblázatból*, illetve az *56. ábrából* meg lehet becsülni.

70. táblázat: A homokos kavics adalékanyaggal készített friss beton hozzávetőleges vízigénye *Springenschmid* (2007) szerint, kg/(betömörített friss beton m³)

Adalékanyag vízigénye	D_{max}, Adalékanyag legnagyobb szemnagysága, mm								
	8			16			32		
	Szemmegoszlási határgörbe								
	A8	B8	C8	A16	B16	C16	A32	B32	C32
	Szemmegoszlási határgörbék finomsági modulusa								
	5,70	4,90	4,30	6,60	5,60	4,80	7,55	6,35	5,40
	Földnedves konzisztencia Jele: F1/C1 (könyvünk *9.1. fejezete*)								
Kicsi	150	170	185	120	140	175	105	130	160
Nagy	155	175	195	140	150	185	130	140	165
	Kissé képlékeny konzisztencia Jele: S1/F2/C2 (könyvünk *9.1. fejezete*)								
Kicsi	180	195	210	150	175	200	130	160	190
Nagy	185	200	225	165	180	210	155	170	195
	Képlékeny konzisztencia Jele: S2/F3/C3 (könyvünk *9.1. fejezete*)								
Kicsi	205	220	235	175	200	225	150	185	215
Nagy	210	225	250	190	205	235	170	195	220



56. ábra: A homokos kavics adalékanyaggal készített friss beton hozzávetőleges vízigénye *Röhling* et al. (2012), illetve a *DBV Deutscher Beton-Verein* (1995) szerint, a szemmegoszlási határgörbék finomsági modulusa helyének bejelölésével

– A minden szempontból – a különleges követelményeknek, mint például vízzáró, vagy lövellt, vagy szálerősítésű, vagy csúszózsaluzatos, vagy kis-zsugorodású, vagy látszó- stb. beton készítése követelményének is – megfelelő M_c-m értékpár meghatározása és a betömörített friss betonnak a társított környezeti osztály (*17. táblázat* és *8.2. fejezet*) követelményét kielégítő levegő-tartalma ($V_{levegő}$) felvétele után kiszámítjuk az 1,0 m³ betömörített beton elkészítéséhez szükséges **adalékanyag térfogatát** (V_a):

$$V_a = 1000 - (\frac{M_c}{\rho_c} + V_{víz} + V_{levegő}) \quad [liter/(beton\, m^3)]$$

majd ebből meghatározzuk a légszáraz adalékanyag tömegét, azaz feltételezve, hogy az adalékanyag légszáraz, a beton **adalékanyag-tartalmát** (M_a):

$$M_a = V_a \cdot \rho_a \quad [kg/(beton\, m^3)]$$

ahol:

$V_{víz} = M_c \cdot x$ a **vízadagolás** értéke literben az M_c cementtartalomból és az x víz-cement tényezőből számítva, és feltéve, hogy $V_{víz}$ = $M_{víz}$

ρ_c a cement anyagsűrűsége [kg/liter], például portlandcement (CEM I) esetén 3,10 kg/liter, kohósalak-portlandcement (CEM II) esetén 3,05 kg/liter, kohósalakcement (CEM III) 3,0 kg/liter,

ρ_a az adalékanyag keverék testsűrűsége [kg/liter], például a 4 mm alatti homok szemek esetén 2,60 kg/liter, és a 4 mm feletti kavics szemek esetén 2,65 kg/liter

Ha az adalékanyag nedves, akkor a vízadagolást az adalékanyag, elsősorban a 4 mm-nél finomabb szemek felületi nedvességével csökkenteni, és a vízadagolás csökkentésének mértékével az adalékanyag frakció adagolását növelni kell.

Az M_a tömegű adalékanyag szemmegoszlását **osztályozott frakciókból** úgy kell összeállítani, hogy a D_{max} legnagyobb szemnagyságú adalékanyag szemmegoszlásának finomsági modulusa egyezzen meg a tervezett *m* finomsági modulussal.

– A **lisztfinomságú szemek** (a 0,125 mm alatt lévő cement, adalékanyag és kiegészítőanyag szemek összessége) technológiailag a beton legfontosabb alkotórésze, mert a lisztfinomságú szemek növelik a friss beton pép-megtartóképességét, csökkentik a kivérzési és szétosztályozódási hajlamát, növelik a vízigényét, befolyásolják a tömöríthetőségét, és jó hatással lehetnek a szilárd beton szövetszerkezetének tömörségére, azok túl nagy mennyisége azonban a cementhabarcsot és a friss betont viszkózussá (sűrűn folyóssá) teszi, és növeli annak vízigényét. A lisztfinomságú szemek optimális mennyiségét az *M2. melléklet* szerint lehet meghatározni.

– Bármely betontervezési módszerrel is dolgozunk, igen fontos, hogy a betontervezés eredményeképpen kapott **betonösszetételt laboratóriumi vagy üzemi próbakeveréssel kipróbáljuk**, és ha nem felel meg, akkor a tervezés kiindulási adatain változtassunk. Ennek során a legfontosabb megfigyelni a friss beton vízmegtartóképességét, szétosztályozódási hajlamát, bedolgozhatóságát (tömöríthetőségét) és ellenőrizni a friss beton konzisztenciáját, bedolgozott állapotban a testsűrűségét és a levegőtartalmát, valamint szabványosan tárolt próbatesteken a megszilárdult, 28 napos beton testsűrűségét és nyomószilárdságát.

  Ha a próbakeverés során a tervezett összetételű friss beton bedolgozása nehézségbe ütközik, akkor a beton konzisztenciáját **folyósító adalékszer** alkalmazásával kell képlékenyíteni, és semmi esetre sem a keverék vízadagolásának növelésével, mert ezzel a beton tervezett nyomószilárdságának elérését jóvátehetetlenül meghiúsítjuk.

– A szerkezetbe beépítésre kerülő friss beton összetételét egyszerű esetben a szállítási dokumentum, konzisztenciáját könyvünk *9. fejezete*, bedolgozott állapotban mért testsűrűségét a *10.1. fejezet* és levegőtartalmát a *11.1. fejezet* alapján a beépíthetőség szempontjából, a 28 napos szilárd beton testsűrűségét a *10.2 fejezet,* nyomószilárdságát a *12. fejezet* alapján kell ellenőrizni az **átadás-átvételi folyamat** részeként.

– A **kisépítkezések betonjainak** összetétele könyvünk *22.13. fejezete* szerinti lehet.

22.2. A MUNKAHELY ELŐKÉSZÍTÉSE, ZSALUZAT

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a beton beépítése a felhasználó felelőssége és nem tárgya a betongyártó megfelelőség igazolásának.

A betonozás megkezdése előtt be kell fejezni minden olyan munkát, amely technológiailag megelőzi a beton bedolgozását, vagy attól ugyan független, de annak végrehajtása akadályozná a betonozást.

A betonkeverék elhelyezésére a megfelelő teherbírású, alaktartó zsaluzatot kell készíteni. A zsaluzat a betonnal közvetlenül érintkező zsaluhéjból, valamint a zsaluhéjat megtámasztó teherhordó részből áll. A zsaluhéj tiszta legyen, a betonból ne szívjon el jelentős mennyiségű vizet, és zárt legyen, hogy a finom-cementhabarcs a zsaluhéjból kifolyni ne tudjon. Az esetleg alkalmazott kizsaluzást könnyítő szer ne legyen káros a betonra.

A zsaluzatot és a betonacél szerelést a betonozás megkezdése előtt ellenőrizni, és az ellenőrzés eredményét az építési naplóban rögzíteni kell. A betonfedés – a betonacél korrózió védelme, a kapcsolati erők biztonságos átadása és a tűzbiztonság érdekében – a szerkezet tervezési élettartama (*3. fejezet*) és a környezeti osztály (*8. fejezet*) függvényében feleljen meg könyvünk *5. fejezetében* foglaltaknak.

A zsaluzat ellenőrzése során annak helyzetét, méreteit, szilárdságát, alaktartósságát, tömörségét és tisztaságát kell ellenőrizni. Fontos követelmény, hogy a zsaluzat és az állványzat a betonozás alatt és után, egészen a beton megszilárdulásáig helyzetét és alakját ne változtassa. A betonacél szerelést először a beépítés előtt kell ellenőrizni. Az ellenőrzés a vasátmérőre, a vasvezetésre és a darabszámra terjedjen ki. A második ellenőrzést a betonozás megkezdése előtt kell elvégezni. Ez utóbbi esetben a betonfedés ellenőrzésére kell nagy hangsúlyt helyezni.

A zsaluzat belső felületét és az összeszerelt betonacélt minden idegen anyagtól és szennyeződéstől meg kell tisztítani. Tisztítás után a zsaluzat betonnal érintkező felületét kellősíteni kell, de úgy, hogy a kellősítés a betonacél és a beton közötti tapadást ne rontsa, vagy a zsaluzatot az acélszerelés beemelése előtt kell zsaluleválasztó szerrel bevonni (kellősíteni).

Különböző előkészítést igényel, ha a bedolgozandó betonkeverék az épített zsaluhéjon kívül más felülettel (föld, szikla, szilárd beton) is érintkezik. Vasalt alaplemez, vagy alaptest készítésekor - a talajfelület megtisztítása és tömörítése után, a betonacél szerelés megkezdése előtt - legalább 50 mm vastag szerelő betonlemezt kell készíteni. Sziklafelületre való betonozás előtt a laza részeket el kell távolítani, majd a felületet erős vízsugárral le kell mosni. Betonozás előtt a szikla felületét be kell nedvesíteni, majd a mélyedésekben visszamaradó vizet el kell távolítani.”

22.3. BETONKEVERÉK KÉSZÍTÉSE

A friss beton elkészítése szempontjából megkülönböztetjük az építéshelyen készített betont, transzportbetont, az előregyártó üzemben készített betont, és ritkán előfordul a járműben kevert transzportbeton (*Röhlin*g et al. 2012).

Európában a beton keverőüzemi előállítása terjedt el, mert a betonüzemben kevert beton homogenitása a legnagyobb.

Építéshelyen akkor célszerű a betont készíteni, ha a szükséges beton mennyisége nagyon nagy vagy szűk határidő mellett kicsi, a transzportbeton üzemtől nagy a szállítási távolság, és a beton előállítására szervezési vagy időjárási szempontok miatt kevés idő áll rendelkezésre.

A transzportbeton üzemek általában egyenletesen jó minőségű betonkeverékeik, a termékválaszték bősége, gazdaságosságuk, környezetkímélő voltuk folytán igen elterjedtek, teljesítményük többnyire eléri az óránkénti 60 m^3 friss betont, de van 200 m^3/óra teljesítményű transzportbeton üzem is. A transzportbeton mintegy legfeljebb 60 km távolságra szállítható.

A járműben kevert transzportbetont csak akkor alkalmazzák, ha különleges körülmények, például a nagy szállítási távolság miatt a készre kevert betont 90 percen belül nem lehet beépíteni és a beton nyomószilárdsági osztálya kicsi.

A betonösszetevőket a receptúra szerint kell adagolni, illetve összemérni. A mérési pontosság az adalékanyag, a kötőanyag és a keverővíz esetén ≤ 3 tömeg%, a kiegészítőanyagok esetén

≤ 5 tömeg% legyen. A cementet, az adalékanyagot, és általában a kiegészítőanyagot tömeg szerint kell adagolni, az adalékanyagot akkor is, ha a frakciók testsűrűsége különböző. A folyékony összetevők (keverővíz, adalékszer) adagolása tömeg szerint vagy térfogat szerint (például vízórán át) történhet. Az adalékszer adagolandó mennyiségét mindig a cementtartalom tömeg%-ában adják meg.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 9.6.2.2. szakasza szerint „a mérő- és adagolóberendezések mérési és adagolási pontosságát hitelesített súlyokkal ellenőrizni lehessen. Az adagoló berendezéseket úgy kell kialakítani, hogy ha az előző adagolásból a mérlegtartályban anyag maradt vissza, akkor ne lehessen új adagolást kezdeni. Ezeket a feltételeket általában az adagolóberendezés szállítójának kell teljesítenie és betartania, de a meglévő keverőtelepek mérő- és adagoló berendezéseit a beton gyártójának ebből a szempontból felül kell vizsgálnia, és amennyiben lehetséges, a mérési pontosság ellenőrzését a szükséges kiegészítő szerelékek segítségével kell lehetővé tennie.

A mérlegek és mérőberendezések mérési pontosságának ellenőrzését a gyártónak év közben saját használati etalonokkal vagy kalibráló szervezetnek adott megbízással, a kapacitás kihasználtságtól függő gyakorisággal, de évente legalább egyszer ellenőriznie, vagy ellenőriztetnie kell."

A keverővizet porlasztófúvókán vagy hasonlóképpen eloszlatva kell a keverékbe juttatni. A tervezett víz-cement tényező és a konzisztencia, illetve a receptúra szerinti vízadagolás betartása érdekében a keverővíz és az adalékanyag mennyiségét az adalékanyag felületi nedvességtartalma függvényében korrigálni kell. A durva adalékanyag felületi nedvességtartalma általában kicsi és elhanyagolható, ezért elég a 8 mm alatti adalékanyag frakciók felületi nedvességtartalmát meghatározni, és a korrekciót ennek függvényében elvégezni.

A 8 mm alatti adalékanyag frakciók felületi nedvességtartalmát a laboratóriumi módszeren kívül például az anyagáramba helyezett (például az adagoló garatba beépített) nedvességtartalom mérő szondával lehet közvetlenül mérni, vagy a keverőgép villamos teljesítményfelvétele és a beton konzisztenciája összefüggésének segítségével lehet közvetetten figyelembe venni. Ezek a mérőeszközök a keverővíz adagolásának automatizálását is lehetővé teszik. (*Kausay – Szirmai* 1979)

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 9.6.2.3. szakasza szerint „a C30/37 szilárdsági osztálynál nagyobb szilárdsági osztályú betonokat (könyvünk *7. fejezete*) csak számítógéppel vezérelt keverőgéppel szabad előállítani, mely a beton anyagainak összetételét és mennyiségét keverésenként automatikusan regisztrálja olyan betonüzemben, amelynek a termelése évente legalább 10 ezer m^3 beton. A C30/37 szilárdsági osztálynál nagyobb szilárdságú betonokat lehetőleg olyan keverőgépekkel kell készíteni, amelyek a 4 mm-nél kisebb szemnagyságú adalékanyagok nedvességtartalmát ± 0,5 % pontossággal mérni, és ennek megfelelően a vízadagolást korrigálni képesek. A cementet, az adalékanyagokat, a kiegészítőanyagokat csak tömeg szerint szabad kimérni, és a keverőbe adagolni."

A betonkeverő berendezések kialakítása az adalékanyag tárolás módjától függően lehet torony, azaz vertikális elrendezésű, soros, azaz horizontális elrendezésű, csillag elrendezésű, lehet mobil esetleg félmobil keverőberendezés (*Röhlin*g et al. 2012).

A *torony, azaz vertikális elrendezésű* keverőberendezés az adalékanyag frakciók részére silórekeszeket tartalmaz, feladó bunkert és serleges szállítóművet az adalékanyag továbbítására. A silók tároló kapacitása egy-, kétnapos szükségletet kielégít, térfogata általában 100-875 m^3, magassága 4,5-12,5 m. A torony elrendezésű keverőberendezés teljesítménye általában 60-120 m^3/óra. Helyigénye igen csekély.

Soros, azaz horizontális elrendezésű keverőberendezés esetén az adalékanyagot sorba elhelyezett silókban tárolják, és azokat általában homlokrakodóval töltik fel. A soros elrendezésű keverőberendezés teljesítménye általában 30-120 m^3/óra. Helyigénye nagy.

Csillag elrendezésű keverőberendezés esetén az adalékanyag frakciókat rekeszekre osztott szabadtéri csillagdepóniában tárolják, és kotróládás berendezéssel juttatják a mérlegelő-berendezésre.

A *mobil keverőberendezés* előnye, hogy összeszerelve szállítható a telepítés helyére, ahol könnyen az előkészített alaptestre helyezhető, és gyorsan üzembe állítható. A mobil elrendezésű keverőberendezés teljesítménye általában 50-80 m^3/óra. Beton út és repülőtéri pályaburkolatok építése céljára ezeknél nagyobb teljesítményű, különleges mobil keverőberendezéseket is gyártanak.

A *félmobil keverőberendezés* átmenetet képez a soros elrendezésű keverőberendezés és a mobil keverőberendezés között azáltal, hogy a soros elrendezésű keverőberendezést mobil vázra lehet illeszteni.

A betonkeverőgépekkel szemben támasztott követelmény, hogy mindenféle betonösszetétel esetén alkalmas legyen rövid időn belül egyenletes friss beton keverék elkészítésére, a kopása és az energiafelvétele csekély legyen, könnyen lehessen kezelni, és megbízhatóan működjön (*Röhlin*g et al. 2012).

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 9.6.2.3. szakasza szerint „a keverőgép keverési intenzitásának megfelelőségét, vagyis a keverék egyenletes elkeveredését a megadott keverési idő alatt a gép gyártójának dokumentálnia kell. Ha a gépgyártó ilyen dokumentációt nem adott, vagy nem áll rendelkezésre, akkor azt a betonkeverék előállítójának kell ellenőriznie a keverőgép üzembe helyezésekor, a folyamatos gyártás megkezdése előtt.

A keverőgépek és a mixer-gépkocsik előírt kopásának ellenőrzése mellett időszakonként legalább évente az anyagok egyenletes elkeveredését is ellenőrizni kell, a megkevert betonadag különböző helyeiről vett betonminták vizsgálatával és a vizsgálati eredmények összehasonlításával kell a keverék egyenletességét értékelni.

A keverék egyenletessége akkor felel meg, ha a dob közelítően 15 százalékos és 85 százalékos ürítésnél vett minták vizsgálati eredményeinek különbsége a könyvünk *71. táblázatában* előírt megengedet eltérést nem lépi túl."

71. táblázat: Megengedett eltérések a keverőgép vagy a mixerkocsi dobjából vett két egyedi minta vizsgálati eredménye között, a keverék egyenletességének érdekében az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 9.1. táblázata szerint

Vizsgálat megnevezése	Két egyedi minta* vizsgálati eredménye között megengedett legnagyobb eltérés
Konzisztencia vizsgálata: Terülési mérték Roskadási mérték az S1 konzisztencia osztályban Roskadási mérték az S2 és S3 konzisztencia osztályban	 40 mm 10 mm 20 mm
4 mm-nél nagyobb szemek részaránya a mintában	6 tömeg%
Friss beton levegőtartalma	1 térfogat%
A mintából készített 3-3 db beton 150 mm-es próbakocka 28 napos korú nyomószilárdságának átlaga: C8/10 - C12/15 szilárdsági osztályokban C16/20 - C25/30 szilárdsági osztályokban C30/37 - C55/67 szilárdsági osztályokban	 2 N/mm^2 3 N/mm^2 4 N/mm^2
* A két egyedi mintát a dobból kiadott keverék második és negyedik ötödéből kell venni.	

A betonkeverőgép *szakaszos* (ciklikus) vagy *folyamatos* üzemű lehet (DIN 459-1:1995). A szakaszos üzemű keverőgép (Absatzmischer) esetén a töltés, keverés, ürítés mozzanatai egymást követik. Szakaszos üzemű a forgódobos, a tányéros és a teknős betonkeverőgép.

A *forgódobos* keverőgépek szabad eséssel kevernek, a kisebbek keverődob térfogata 150-250 liter, ezek a házilagos betonozás eszközei, amelyekbe kézzel kell az összetevőket bejuttatni, a nagyobbakat általában a torony elrendezésű keverőberendezésekbe építik be, ezek keverődob térfogata 4,5 m^3-ig terjed. Az ürítési mód szerint három főbb típusát különböztetik meg: a *billentéssel ürítő* forgódobos betonkeverőgép (Kipptrommelmischer) keverődobjának a tengelye ferde állású, és a keverődobnak egy nyílása van; a *visszaforgatással ürítő* forgódobos betonkeverőgép (Umkehrmischer) keverődobjának a tengelye vízszintes, és a keverődobnak külön, egymással szemben fekvő betöltő és ürítő nyílása van; a harmadik, kevésbé elterjedt típusú forgódobos betonkeverőgép (Gleichlaufmischer) keverődobjának a tengelye szintén vízszintes, és ugyancsak két egymással szemben fekvő betöltő és ürítő nyílása van, és a keverődobból a friss beton a forgó keverődobbal irányát változtató surrantón keresztül, vagy ha a keverődob kétrészes, akkor annak szétnyitásával üríthető.

A *tányéros* keverőgépeket (Tellermischer) kényszerkeverőgépeknek (Zwangmischer) is nevezik, alkalmazásukkal egyszerre általában legfeljebb 3 m^3 betont lehet megkeverni. A *tányéros* betonkeverőgépek tengelye függőleges vagy ferde állású, hengeralakú keverőtányérja meghajtás nélküli vagy meghajtott, és meghajtott vagy meghajtás nélküli keverőszerszáma centrikusan vagy excentrikusan helyezkedik el, és ellenirányban is forgatható. A meghajtott keverőtányér a meghajtott keverőszerszám forgás irányával ellentétes irányba forog. Ha a keverőszerszám gyűrűs pályán mozog, akkor *gyűrűműves tányéros* betonkeverőgépnek (Ringtellermischer), ha bolygó mozgást végez, akkor *bolygóműves tányéros* betonkeverőgépnek (Planetenmischer) nevezik. Némely tányéros betonkeverőgép típus esetén a keverőkarokra még a keverő hatást fokozó forgó lapátokat is szerelnek. A tányéros keverőgépek keverési sebessége változtatható, így például erősítő acélszálak bekeverése esetén gyorsabb, könnyűbeton keverése esetén lassabb fokozaton járathatók. A tányéros keverőgépek a keverőtányér alján lévő nyíláson át üríthetők.

A *teknős* keverőgép (Trogmischer) egy vagy két vízszintes helyzetű keverőteknővel, az egyteknős (egytengelyes) betonkeverőgép egy meghajtott keverőszerszámmal, a *két-teknős (kéttengelyes)* betonkeverőgép (Doppelwellen-Chargenmischer) teknőnként egy-egy meghajtott, egymással szemben forgó keverőszerszámmal rendelkezik, amely utóbbiak keverőpályája egymásba metsz. A két-teknős (kéttengelyes) betonkeverőgéppel keverésenként akár 9 m^3 beton is elkészíthető. A teknős keverőgépek fordulatszáma változtatható, ürítésük a teknő alján lévő csapon vagy körtolattyún át történik.

A *folyamatos üzemű* keverőgép (Stetigmischer, Durchlaufmischer) *keverőedénye henger alakú* (Trommeldurchlaufmischer) vagy *teknő alakú* (Trogdurchlaufmischer). A folyamatos üzemű forgódobos betonkeverőgépnek a henger alakú keverőedénye, a folyamatos üzemű teknős keverőgépnek a keverőszerszáma forog. A folyamatos üzemű teknős betonkeverőgép egy vagy két teknővel, illetve keverőszerszámmal rendelkezik. A folyamatos üzemű betonkeverőgépek tengelye általában kis szöget zár be a vízszintessel, amely a folyamatos keverékáramlást és ürítést elősegíti. A folyamatos üzemű betonkeverőgépbe a beton összetevőit a víz kivételével a keverőedény felső végén juttatják be, és a keverék a keverővíz hozzáadása közben a forgó mozgás és a tengely ferdesége következtében keverőgép alsó vége felé áramlik, ahol a megkevert friss beton a keverőgépből folyamatosan kilép. A folyamatos üzemű betonkeverőgépek – amelyek szintén a kényszerkeverőgépek csoportjába tartoznak – elsősorban a pályaburkolatok alatti hidraulikusan kötött (általában portlandcement és például kohósalak tartalmú, de cementnek nem minősülő, például DIN 18506:2002 szabvány szerinti kötőanyaggal) teherhordó rétegek (TL Beton-StB 07) anyagának keverésére alkalmasak (*Röhlin*g et al. 2012).

A szakaszos üzemű betonkeverőgép nagyságát (azaz névleges dobtérfogatát) az egy keveréssel előállítható friss beton m^3-ben vagy literben kifejezett betömörített állapotban mért térfogatával szokták jelölni (DIN 459-1:1995), és ezt a névleges térfogatot az MSZ EN 12350-4:2009 szabvány szerinti, C = 1,45 értékű *Walz*-féle tömörítési mérték alapulvételével határozzák meg (lásd könyvünk *21. táblázatát* és *12. ábráját*). Ez azt jelenti, úgy számolnak, hogy az egy keveréssel megkevert, laza állapotú friss beton térfogata a betonkeverőgép névleges térfogatának, azaz a betömörített friss beton térfogatának 1,45-szerese. Ha a szakaszos üzemű betonkeverőgép nagyságát két számmal jelölik, akkor az első szám az egy keveréssel előállítható friss beton betömörített állapotban mért névleges térfogata, a második szám az egy keveréssel előállítható friss beton betömörítetlen, laza állapotban mért térfogata, például 1500/2175 liter vagy 1,5 értékű szorzóval számolva 1500/2250 liter.

A DIN 1045-2:2008 szabvány 9.8 szakasza szerint – amely szabvány a DIN EN 206-1 európai szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma – szakaszos üzemű betonkeverőgép esetén a közönséges beton egyenletes megkeveréséhez 30 másodperc, a könnyűbeton egyenletes megkeveréséhez 90 másodperc szükséges, a TL Beton-StB 07 német szállítási feltételek szerint ez az idő a pályaburkolati beton keverése esetén 45 másodperc. Mixer gépkocsiban (keverő gépkocsi) az adalékszer – rendszerint folyósítószer – bekeveréséhez beton m^3-enként legalább 60 másodperc, összesen legalább 5 perc szükséges.

A szakaszos üzemű betonkeverőgép ciklusideje a töltés-keverés-ürítés-alapállásbahozás részidőkből tevődik össze, amiből az óránkénti keverések számát úgy kapjuk meg, hogy 3600 másodpercet elosztunk a másodpercben kifejezett ciklusidővel. Ha például a töltési idő 30 másodperc, a keverési idő 30 másodperc, az ürítési idő 30 másodperc és a keverőgép alapállásba hozásához szükséges idő 10 másodperc, akkor a ciklusidő 100 másodperc, és az óránkénti keverések száma 3600/100 = 36.

A szakaszos üzemű betonkeverőgép elméleti keverési teljesítményét (m^3/óra) a névleges térfogatnak és az óránkénti keverések számának a szorzata adja (DIN 459-1:1995). Folytatva

az előző példát, ha a keverőgép névleges térfogata 3 m^3 és az óránkénti keverések száma 36, akkor a keverőgép elméleti keverési teljesítménye 3·36 = 108 m^3/óra, és az egy óra alatt megkevert friss beton térfogata laza állapotban 1,45·108 = 157 m^3.

A DIN 459-1:1995 szabvány szerint mixer-gépkocsi esetén a keverődob névleges térfogata (m^3) alatt annak a víztérfogatnak a 0,95-szeresét értik, amelyet a vízszintesen álló mixer-gépkocsi percenként két fordulatot végző, keverés-irányba forgó keverődobjába be lehet tölteni. Ha például valamely mixer-gépkocsi keverődobjának névleges térfogata 9 m^3, akkor a fenti példa szerinti keverési teljesítményű szakaszos üzemű betonkeverőgép egy óra alatt 157/9 = 17 ilyen mixer-gépkocsit képes kiszolgálni, és egy mixer-gépkocsi kiszolgálása 60/17 = 3,5 percet vesz igénybe. A mixer-gépkocsi tartózkodási idejébe az ürítési időt is be kell számítani, ezért általában legalább 10 perc tartózkodási idővel szokás számolni, amihez az oda-vissza fuvaridőt hozzáadva adódik a mixer-gépkocsi igénybevételének ideje.

Folyamatos üzemű betonkeverőgépek elméleti keverési teljesítménye (tonna/óra) az egy óra alatt megkevert friss beton tömege tonnában kifejezve (DIN 459-1:1995).

A friss beton hőmérsékletének általában nem szabad a 30 °C hőmérsékletet túllépnie, hogy a kötés a tervezett módon folyhasson le.

A télen is működő betonüzemet alkalmassá kell tenni arra, hogy

– +5 °C és -3 °C közötti levegő hőmérséklet esetén a bedolgozáskor legalább +5 °C hőmérsékletű betont, 240 kg/m^3-nél kisebb cementadagolás vagy kis hőfejlesztésű cement alkalmazása esetén a bedolgozáskor legalább +10 °C hőmérsékletű betont;
– -3 °C levegő hőmérséklet alatt a bedolgozáskor legalább +10 °C hőmérsékletű betont tudjon kiszolgálni (DIN 1045-3:2008 szabvány 8.3 szakasza).

Tapasztalatok szerint a friss beton hőmérséklete 1 °C-kal emelkedik, ha a keverővíz hőmérsékletét 5 °C-ról 6 °C-ra emeljük, és a friss beton eléri a 10 °C hőmérsékletet, ha a keverővíz hőmérséklete 60 °C, de pusztán a keverővíz melegítésével általában nem lehet a friss beton télen szükséges hőmérsékletét biztosítani, ezért az adalékanyagot is melegíteni szokták.

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 9.8. szakasza szerint „az alkotóanyagokat a megfelelő keverőgépben addig kell keverni, amíg a beton egyenletes megjelenésűvé nem válik. Az ehhez szükséges időtartam a keverőgép kialakításától függ. Az írásban kiadott keverési utasításnak tartalmaznia kell a szükséges keverési időtartam határértékeit.

A keverőgépet nem szabad a névleges keverési kapacitásán túltölteni.

Ha adalékszereket használunk, akkor ezeket a fő keverési folyamat alatt kell adagolni, kivéve a folyósító vagy a képlékenyítő adalékszereket, amelyeket a fő keverési folyamat után is a betonhoz lehet adni. Utóbbi esetben a betont újra át kell keverni, amíg az adalékszer tökéletesen el nem oszlik az adagban vagy a szállítmányban, és nem válik teljes mértékben hatásossá (lásd könyvünk *22.4.1. fejezetét* is).

Ha a könnyűbetonhoz vízzel nem telített adalékanyagokat adagolnak, akkor a kezdeti keveréstől a befejező keverés végéig tartó szakaszt (például az átkeverést a mixer-gépkocsiban) addig kell meghosszabbítani, amíg az adalékanyagok vizet vesznek fel, és a könnyű adalékanyagokból az ezt követően eltávozó levegőnek már nincs semmilyen lényeges negatív hatása a szilárd beton tulajdonságaira, illetve a vízfelvétel következtében merevedő keverék konzisztenciája a vízhozzáadással végleges szintre beállítható. A vízzel nem telített könnyű adalékanyag alkalmazását általában kerülni kell.

A friss beton összetétele nem szabad, hogy megváltozzék a keverőgép elhagyása után.”

22.4. A BETONKEVERÉK SZÁLLÍTÁSA

22.4.1. A betonkeverék szállítása az építéshelyre

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7.6. szakasza szerint „a betonkeverék szállítását a lehető legrövidebb időn belül, a legrövidebb útvonalon úgy kell végrehajtani, hogy a betonkeverék az eltarthatósági időtartamnál hamarabb jusson el a felhasználás helyére – az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7.7. szakasza nevezi eltarthatósági időnek azt az időt, amelyen belül a beton minőségromlás nélkül bedolgozható –, és abban káros elváltozások (szétosztályozódás, kiszáradás, pépveszteség, káros mértékű lehűlés vagy felmelegedés) ne keletkezzenek. Nyáron a frissen őrölt és szállított meleg cement felhasználásával készített betonkeverék túlmelegedhet.

A beton közúti szállításának módját a konzisztencia (könyvünk *8. fejezete*) függvényében célszerű megválasztani.

A V0, V1, C0 és F1 konzisztencia osztályú betonkeverékeket kellően tömített, sima felületű, billenőteknős vagy szekrényes gépkocsival kell szállítani. Ha az időjárási körülmények szükségessé teszik, akkor a betonkeveréket ponyvatakarással kell védeni az esőtől vagy a nap szárító hatásától. Az S1, V2, C1 és F2 konzisztencia osztályú betonkeverékeket is szabad ezekkel a gépkocsikkal szállítani, ha alkalmasságukra vannak gyakorlati tapasztalatok, vagy azt előzetesen próbaszállítással igazolják.

Ha a billenőteknős vagy szekrényes gépkocsival való próbaszállítás eredménye kedvezőtlen, akkor ezeket az S1, V2, C1 és F3 konzisztencia osztályú betonkeverékeket csak keverő (mixer) gépkocsiban szabad a felhasználás helyére szállítani. Ugyancsak ezeket a gépkocsikat kell igénybe venni az S2, S3, S4, S5, V3, V4, C2, C3, C4, F3, F4, F5 és F6 konzisztencia osztályú betonkeverékek szállítására. Közvetlenül az ürítés előtt a keveréket legalább 40 gyorsfordulattal át kell keverni.

A mixer-gépkocsit megfelelő vízmérő és adagoló berendezéssel kell felszerelni, és rendelkeznie kell fordulatszám-szabályozóval, amely lehetővé teszi a keverési (gyors) és szállítási (kavarási) forgássebességet (MSZ 4798-1:2004 szabvány 7.5. szakasza).

Az ürítés helyszínére érkezett mixer-gépkocsi dobját legalább 12/perc keverési fordulatszámú, legalább 40 fordulattal kell járatni, hogy a keverék anyagainak eloszlása a dobban az ürítés előtt megfelelően egyenletessé váljon (MSZ 4798-1:2004 szabvány 9.6.2.3. szakasza).

Légbuborékképző adalékszerrel készített friss betont nem szabad gyorsfordulattal (12/perc) keverni, mert a gyors keverés hatására a légbuborék-rendszer tönkremegy. A légbuborék-tartalmú friss transzportbeton levegő-tartalmát az építés helyszínén kell vizsgálni.

Amennyiben a gyártó és a felhasználó a szállítás megkezdése előtt nem egyezett meg másban, akkor a szállítás megengedett leghosszabb időtartamának az értékeit könyvünk *72. táblázata* alapján kell megállapítani. A táblázatban megadott időtartamoktól akkor szabad eltérni, ha a betonkeveréket kötéskésleltető adalékszerrel készítik, és az eltarthatósági vizsgálatok eredményeivel igazolják az eltérés megengedhető mértékét. A vizsgálatok eredményeiből számítható a szállítás megengedett időtartama, amelynek értéke 30 perccel kevesebb, mint az eltarthatósági idő (*72. táblázat*).

72. táblázat: Adalékszer nélkül készített betonkeverékek eltarthatóságának és közúti szállítási időtartamának megengedett mértéke az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint

Víz-cement tényező	A betonkeverék átlagos hőmérséklete a szállítás kezdetekor °C								
	+ 10			+ 20			+ 30		
	A cement szilárdsági osztálya								
	32,5	42,5	52,5	32,5	42,5	52,5	32,5	42,5	52,5
Adalékszer nélkül készített betonkeverékek **eltarthatóságának** tájékoztató időtartama, perc az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 7.2. táblázata szerint									
0,35 – 0,44	100	90	80	70	60	50	50	40	35
0,45 – 0,54	110	100	90	80	70	60	60	50	40
0,55 – 0,64	120	110	100	90	80	70	70	60	50
0,65 – 0,75	130	120	110	100	90	80	80	70	60
Adalékszer nélkül készített betonkeverékek **megengedett közúti szállítási** időtartama, perc az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 7.1. táblázata szerint									
0,35 – 0,44	70	60	50	40	30	20	20	10	5
0,45 – 0,54	80	70	60	50	40	30	30	20	10
0,55 – 0,64	90	80	70	60	50	40	40	30	20
0,65 – 0,75	100	90	80	70	60	50	50	40	30

A megengedett szállítási időtartamon belül érkezett járműből a betonkeveréket 30 percen belül ki kell üríteni, és be kell dolgozni, ellenkező esetben várható a beton minőségének a romlása. Ha a szállítójármű a megengedett szállítási időtartamnál korábban érkezik, akkor a betonkeverék ürítésének és bedolgozásának az ideje meghosszabbítható a *72. táblázatnak* megfelelő eltarthatósági idő figyelembevételével.

A szállítási időtartam betartásáért a gyártó felelős, ha a szállítójármű a gyártó tulajdona vagy a gyártó rendeli meg a szállítást. Ebben az esetben a betonkeverék átadásának a helye a felhasználó által megjelölt átvételi hely. A szállítási időtartam betartásáért a felhasználó felelős, ha a szállítójármű a felhasználó tulajdona vagy a felhasználó rendeli meg a szállítást. Ebben az esetben a betonkeverék átadásának a helye a betonüzem telepén erre kijelölt hely (általában a betonüzem kapuja).”

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7.5. szakasza szerint „az átadás alkalmával általában tilos a betonkeverékhez vizet vagy bármilyen adalékszert adni, hacsak a felhasználó és a gyártó nem egyezett meg előzetesen írásban az adalékszer átvételkor való adagolásában (például a felhasználónak folyós betonra van szüksége, de a mixer-gépkocsiban csak képlékeny keverék szállítható; ebben az esetben az átadás előtt a helyszínen kell a képlékeny betonkeveréket adalékszerrel folyóssá alakítani). Kivételes esetekben, a gyártó felelősségvállalása esetén a konzisztencia vízzel vagy adalékszerrel az előírt értékre beállítható előzetes megegyezés hiányában is, ha az előírt határértékeket nem lépik túl, és a beton tervezésekor az adalékszer adagolását figyelembe vették. A mixer-gépkocsiban lévő betonhoz hozzáadott víz vagy adalékszer mennyiségét a szállítólevélre minden esetben rá kell vezetni.

Ha a betonhoz a mixer-gépkocsiban vizet vagy adalékszert adnak, akkor a betont át kell keverni. Mixer-gépkocsiban az átkeverés időtartama a fő keverési folyamatot követően ne legyen kevesebb, mint 1 perc/m^3, és ne legyen kevesebb, mint 5 perc az adalékszer hozzákeverése után (MSZ 4798-1:2004 szabvány 9.8. szakasza).

Ha a betonhoz a felhasználás helyén az előírtnál hígabb konzisztencia esetén cementet kell

adagolni, akkor a mixer-gépkocsi dobját legalább 6 percen át, legalább 72 gyorsfordulattal (legalább 12/perc keverési fordulatszámmal) kell működtetni, hogy az elkeveredés egyenletes legyen (MSZ 4798-1:2004 szabvány 9.6.2.3. szakasza).

A megfelelőségi vizsgálatra a mintát az utolsó átkeverést követően kell venni.

Ha a beton a megállapodás szerinti időben érkezik a helyszínre, de a felhasználó nincs abban a helyzetben, hogy a betonkeveréket 30 percen belül építésre átvegye, és ezért az átvételi határidőt átlépi, akkor a gyártó szavatossága a beton tulajdonságai tekintetében megszűnik.

Ha az eltarthatósági időtartamon belül a mixer-gépkocsiban szállított betonkeverék konzisztenciája az átadáskor a tervezettnél szárazabb, akkor a gépkocsivezetőnek szabad a konzisztenciát a szállítólevélben levő tartományra, képlékenyítő vagy folyósító adalékszerrel beállítania, a tényt a szállítólevélen rögzítve.

Ha a mixer-gépkocsiban szállított betonkeverék konzisztenciája az átadáskor a szállítólevélben lévő konzisztencia osztály felső határát (könyvünk *9. fejezete*) túllépi, akkor a gyártó felelőssége megmarad, ha

– a felhasználó rövid úton megkérdezi a gyártót a teendőkről (átirányítás vagy visszaküldés), és aszerint jár el;
– a felhasználó a betonkeverékhez a gyártóval egyeztetett mennyiségű és fajtájú cementet ad és a betonkeveréket 70 keverési fordulattal átkeveri.

A gyártó felelőssége megszűnik, ha a felhasználó a betonkeveréket a gyártóval való egyeztetés nélkül építi be.

A terveknek, az építéshelyi körülményeknek és ennek a szabványnak meg nem felelő konzisztenciájú betont nem szabad beépíteni.

Ha a mixerkocsiban lévő betonhoz az építkezés helyén több vizet vagy adalékszert adnak, mint amennyit előírtak, akkor a betonadag vagy szállítmány szállítólevelére »nem megfelelő« megjegyzést kell ráírni. Az a közreműködő, aki ezt a hozzáadást elrendelte, felelős a következményekért és őt kell megnevezni a szállítólevélen."

22.4.2. A betonkeverék eltarthatósága

A betonkeverék eltarthatósága az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7.7. szakaszának megfogalmazásában „a keveréstől (a víz hozzáadásától) számított ama időtartam, amelyen belül a beton még kellő tömörségűre bedolgozható (nem kezdődött meg sem a beton merevedése, sem a cement kötése). A beton akkor tekinthető adott időtartamon belül eltarthatónak, ha a keverést követően haladéktalanul elvégzett vizsgálatok eredményeihez képest

– vagy a betonkeverék konzisztencia osztálya legfeljebb egy konzisztencia osztály terjedelemmel lesz merevebb;
– vagy a bedolgozott friss betonkeverék testsűrűsége legfeljebb 3 százalékkal csökken;
– vagy a beton nyomószilárdsága legfeljebb 10 százalékkal csökken, amit előzetes vizsgálatokkal kell igazolni.

Ha a fenti feltételek közül bármelyik nem teljesül, akkor a betonkeverék addig az időtartamig már nem eltartható.

Az eltarthatóságot vizsgálatokkal kell megállapítani. A vizsgálatokat tervezett beton – olyan beton, amelynek teljesítendő tulajdonságait a gyártó számára előírják (MSZ 4798-1:2004 szabvány 3.1.11. szakasza – esetén a gyártónak, egyébként a betonösszetétel előírójának kell elvégeznie, és kell felelősséget vállalnia az eltarthatóságért.

Az eltarthatóság vizsgálata során az adott összetételű, adott hőmérsékletű betonkeverékből azonnal, majd tartályba helyezés és légmentes lefedés után 20 percenként kell olyan mennyiségű mintát kivenni, amelyből a konzisztencia vizsgálata elvégezhető, valamint legalább 3 db próbatest készíthető. A konzisztencia vizsgálatának és a próbatestek 28 napos korban elvégzett nyomószilárdság vizsgálatának az eredményeit dokumentálni kell. (Az időtartam-konzisztenciaszám diagramot is fel kell rakni.)

Mivel az eltarthatóság egyrészt a betonkeverék jellemzőitől (cementfajta, cementtartalom, víz/cement tényező), másrészt a környezeti feltételektől (hőmérséklet, szélsebesség, páratartalom) függ, ezért ezeket az adatokat is részletezni kell. Az eltarthatóságot a gyártó csak a vizsgált feltételekre szavatolja.

A konzisztencia mérőszámnak csak az azonos szintre (egy konzisztencia osztály terjedelemmel) való csökkenését szabad elfogadhatónak tekinteni. Ez azt jelenti, hogy például az F3 konzisztencia osztályú, eredetileg 480 mm terülésű betonkeverék esetén az F2-re mérséklődött konzisztencia osztályt csak akkor szabad megfelelőnek, még elfogadhatónak tekinteni, ha a terülés legfeljebb 410 mm-re csökkent. Ennek magyarázata az, hogy az F3 konzisztencia osztály terülés határai (lásd a *19. táblázatot*) 420-480 mm, tehát az eredeti 480 mm terülés az F3 osztály felső határán volt. Az F2 konzisztencia osztály terülés határai 350-410 mm, tehát az F2 osztály felső határán, 410 mm-en kell a terülésnek maradnia, hogy a betonkeverék eltarthatónak legyen minősíthető.

A felhasználónak átvételkor – kétség esetén – a betonkeverék konzisztenciáját, valamint a bedolgozott friss beton testsűrűségét kell ellenőriznie, és ennek eredménye alapján utasítja el, vagy veszi át a betonkeveréket."

22.4.3. A betonkeverék építéshelyi (munkahelyi) szállítása

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a munkahelyi szállítást úgy kell megszervezni, hogy a betonkeverékben káros elváltozások (szétosztályozódás, kiszáradás, pépveszteség, káros mértékű lehűlés, vagy felmelegedés) ne keletkezhessenek.

A munkahelyi szállítás eszközeit a beton felhasználója választja ki. A betonkeverék a zsaluzatba csúszdán, konténerben, szállítószalaggal, szivattyúval és egyéb szállítási módszerrel szállítható.

A csúszda hossza és hajlásszöge feleljen meg a betonkeverék fajtájának, elsősorban azért, hogy szétosztályozódás ne következhessen be. Csak olyan konténer használható, amely kellően tömített, ürítése szabályozható és szakaszolható. A konténert daru szállítja a bedolgozási szintre. Szállítószalaggal csak földnedves, kissé képlékeny és képlékeny konzisztenciájú (legfeljebb S2, F3, V3, C2 osztályú) betonkeveréket szabad szállítani. A szállítószalag hajlásszögét úgy kell megválasztani, hogy szétosztályozódás ne következhessen be. A szállítószalagot a habarcs feltapadásának megakadályozására kaparólemezzel, valamint a szétosztályozódás elkerülésére a szalagvéghez csatlakozó tölcsérrel és ejtőcsővel kell üzemeltetni.

A betonszivattyú általában nagytömegű betonkeverék munkahelyi szállításának eszköze. Ha a betonkeverék szivattyúzásának szükségessége felmerül, akkor

- meg kell határozni a megfelelő betonösszetételt, amely a tervezői előírásokon túlmenően a szivattyúzhatóság követelményeinek is megfelel;
- olyan szivattyúról kell gondoskodni, amelynek a csővezetéke a könyökök stb. okozta nyomás veszteséggel együtt kellően méretezett;
- a vezetéket a szivattyúzás előtt tejfelszerű cementpéppel kell bevonni (gumilabdát kell végig hajtani);

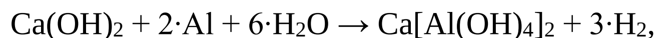
– a szivattyúzást megfelelő szakképzettségű és gyakorlott személyzetre kell bízni.

A szivattyúzandó betonkeverék akkor megfelelő összetételű, ha kellően telített, megfelelően mozgékony, vízmegtartó képessége jó és szétosztályozódásra nem hajlamos.

Más szállítási módszerek esetén a vonatkozó előírásokat kell betartani.”

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.2.5 szakasza szerint a „nagyteljesítményű” betont, mint például a HL-B-Beton jelű, XC4/XD3/XF4 környezeti osztály csoportú (*17. táblázat*) kloridoknak és fagynak ellenálló betont, illetve a közműépítésben alkalmazott, HL-SW-Beton jelű, XC4/D3/XF3/XA3L/XA3T környezeti osztály csoportú (*39. táblázat*) korróziónak és fagynak ellenálló betont elsősorban szivattyúzással kell a zsaluzatba juttatni. A beton terülési mértéke a szivattyúzás előtt legalább 480 mm, azaz legalább F4 terülési osztályú, folyós konzisztenciájú legyen (*19. táblázat* és *10. ábra*).

Alumínium szivattyú vezetéket nem szabad alkalmazni, mert fennáll annak a veszélye, hogy lekopó alumínium részecskék kerülnek a betonba, akárcsak a földnedves transzportbeton alumínium-tartályú járművel történő szállítása esetén (*Weber* 2010). Az alumínium a lúgos kémhatású friss betonnal reakcióba lép, jobban mondva a friss betonban lévő mészhidrát ($Ca(OH)_2$) vizes oldatából hidrogéngázt fejleszt:



$$Ca(OH)_2 + 2 \cdot Al + 6 \cdot H_2O \rightarrow Ca[Al(OH)_4]_2 + 3 \cdot H_2,$$

amely a szilárduló friss betonban nem kivánatos pórusokat hoz létre. Ezt a jelenséget használják ki a pórus-rendszer létrehozásához a gázbetongyártás során (a gázbetont ma mind a kereskedelemben, mind a szabványosításban német mintára pórusbetonnak nevezik).

22.5. A BETONKEVERÉK ELHELYEZÉSE

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a betonkeveréket a megfelelő teherbírású, alaktartó zsaluzatba kell elhelyezni. A zsaluzat a betonnal közvetlenül érintkező zsaluhéjból, valamint a zsaluhéjat megtámasztó teherhordó részből áll. A zsaluhéj tiszta legyen, a betonból ne szívjon el jelentős mennyiségű vizet, és zárt legyen, hogy a finom-cementhabarcs a zsaluhéjból kifolyni ne tudjon. Az esetleg alkalmazott kizsaluzást könnyítő szer ne legyen káros a betonra.

A betonkeverék elhelyezésének szabályai:

– a betonkeveréket lehetőleg közvetlenül a zsaluzatba kell üríteni;
– szállítás közben szétosztályozódott, vagy a tervezettől eltérő konzisztenciájú betonkeveréket a zsaluzatba üríteni nem szabad;
– a betonkeveréket 1,0 m-nél magasabbról szabadon ejteni nem szabad.

Vízszintes szerkezetek készítésekor a betonkeveréket mindig a betonozás irányával szemben kell kiönteni. Ferde szerkezetek építésekor a betonkeveréket alulról felfelé haladva kell elhelyezni. Emelet, vagy ennél magasabb szerkezetek építésekor a betonkeveréket több munkaszintről, ha ez nem valósítható meg, akkor ormánycső közbeiktatásával kell elhelyezni. A tölcsérrel ellátott ormánycsőbe a betonkeveréket úgy kell adagolni, hogy a betonkeverék a csövet mindig teljes keresztmetszetében kitöltse.

A betonkeveréket az elhelyezés alatt meg kell védeni a káros napsugárzástól, erős széltől, víztől és esőtől.”

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.1 szakasza szerint a betonozási nyílások és tömörítési útvonalak biztosításáért a tervező és a kivitelező általában együtt felelős. Az összes hézagtömítőt (fugatömítőt) megfelelően rögzíteni kell, és elsősorban a környezetében, közvetlenül a betonozás előtt, a tisztaságot ellenőrizni kell.

Az osztrák betonszabvány 5.4.9 és 14.3.1 szakasza szerint a friss betont a megkeverése után a lehető leggyorsabban be kell juttatni a zsaluzatba, és be kell tömöríteni. A szükséges konzisztenciáját vesztett, és ezért a rendelkezésre álló tömörítő eszközökkel kifogástalanul már be nem tömöríthető friss betont nem szabad bedolgozni. A friss beton beépítését és tömörítését a víz bekeverését követő 105 percen belül be kell fejezni, ha csak meghosszabbított eltarthatósági időt tudatosan nem terveztek. A meghosszabbított eltarthatósági idő ne legyen 4 óránál több, és annak vége előtt 15 perccel járulékosan ellenőrizni kell a friss beton víztartalmát, testsűrűségét, levegő-tartalmát és konzisztenciáját. A meghosszabbított bedolgozási idejű betont, különösen meleg időben és szélben, védeni kell a bedolgozás utáni gyors kiszáradástól. A repedésmentesnek tervezett, meghosszabbított bedolgozási idejű beton esetén számítani kell a gyorsabb hidratáció folytán fellépő nagyobb hőfejlődésre.

Minthogy a kötéskésleltető (kötéslassító) adalékszerek hatása általában hőmérséklet-függő, a meghosszabbított bedolgozási idejű, kötéskésleltetett friss beton hőmérsékletét és az építéshelyen uralkodó hőmérsékletet a kötéskésleltető adalékszer adagolása során figyelembe kell venni. Ha a kötéskésleltetőszer mellett más adalékszert (például légbuborékképzőt) is alkalmazunk, akkor azok összeférhetőségéről a kötéskésleltetőszerrel a kezdeti (első) vizsgálat során meg kell győződni. Az XF4 környezeti osztályú (*17. táblázat*) beton kötését általában nem szabad késleltetni, ha azonban erre mégis sor kerülne, akkor a beton tulajdonságait, beleértve a légbuborék-rendszert is, a meghosszabbított eltarthatósági idő végén meg kell határozni. Azon szerkezetek esetén, amelyek betonozása 3 óra hosszánál tovább tart, és/vagy az állványzat a szakaszos betonozás folytán esetleges alakváltozásnak (például az állvány gerenda lehajlásának, támasz süllyedésnek) van kitéve, úgy kell a beton kötését késleltetni, hogy a kötés a szerkezetben megközelítőleg egyidejűleg történjék. Ellenkező esetben a fiatal beton szövetszerkezetének károsodására és/vagy a betonvasalás és beton elválására kell számítani.

A mindenkori eltarthatósági időt a kezdeti (első) vizsgálat (MSZ EN 4798-1:2004 szabvány A melléklete), valamint a megfelelőségi (MSZ EN 4798-1:2004 szabvány 8. fejezete) és az azonosító (MSZ EN 4798-1:2004 szabvány B melléklete) vizsgálat során kell meghatározni.

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.3 szakasza szerint a beton bedolgozása során különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a beton hézagmentesen (fészkek nélkül) vegye körül a vasszerelést (acélszerelést), a feszítőbetéteket (előfeszítés), a feszítőcsatornákat (utófeszítés), a hézagtömítőket (fugatömítőket), illetve töltse ki a zsaluzat éleit (vápáit) és sarkait, valamint, hogy teljesüljenek a betonfedés (*5. fejezet*) követelményei. Egymáshoz csatlakozó betonrétegek esetén a nagy színkülönbségek elkerülésére a fogadó beton legnagyobb szemnagysága legfeljebb 16 mm, és/vagy konzisztenciája lágyabb legyen, mint a rábetonozandó betoné.

A betonozás sebességét a statikai feltételek, a zsaluzat magassága és a beton konzisztenciája (*9. fejezet*) függvényében úgy kell megválasztani, hogy a friss beton zsalunyomása a megengedett mértéket (ez általában 60 kN/m^2 = 0,06 N/mm^2) ne lépje túl. Számolva azzal, hogy a zsalunyomás mintegy 5 óra alatt lecseng, a beton szerkezeti elem magasságának függvényében a betonozás ajánlott sebessége 0,5 m/óra és 2,5 m/óra érték. Az egy ütemben betonozott betonréteg magassága legfeljebb 50 cm legyen (ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.3 szakasza).

A friss beton ejtési magassága (ez alatt a friss beton kiömlési nyílásának és a betonfelületnek a távolságát kell érteni) ne legyen több, mint 1,5 m. Ha az ejtési magasság 1,5 m-nél több, akkor olyan ömlesztő csövet, illetve hajlékony ömlesztő tömlőt kell alkalmazni, amelynek kiömlő nyílása szorosan a betonfelület felett van. Betonszivattyú esetén a hosszú csővezeték végét – részben a csővezeték végét irányító betonozó munkásnak az egészsége, az egyensúlya és a betontól való védelmében, részben a betonnak a szétosztályozódástól való védelme érdekében

– „betonfékkel" kell ellátni. A hagyományos betonfékek, mint például a „hattyúnyak-betonfék" vagy az „S-betonfék" mellett ma korszerűbb megoldások is léteznek. Ilyen például a bécsi Rolf Kanhäuser HandelsgmbH által kifejlesztett „új betonfék" (Neue Betonbremse), amely lényegében nagy kopásállóságú, 90 *Shore*-keménységű, és (-30 – +100) °C között hőálló poliuretán-elasztomer-kúp, amelyet emelőkaros tengelykapcsolóval (Hebelkuplung) kell a szivattyúcsővéghez csatlakoztatni, és amelyet a csatlakozást is lefedő, 60 *Shore*-keménységű műanyag borítás vesz körül (*Kanhäuser* 2003).

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.4 szakasza szerint fúrt cölöpök és résfalak betonozásakor, – amelyekre az MSZ EN 1536:2012 és MSZ EN 1538:2012 szabványok vonatkoznak – tekintettel arra, hogy a csőköpeny húzása során a kosárvasalásnak nem szabad felemelkednie, nemcsak a húzást kell megfelelően végezni, hanem a beton összetételét és a kosárvasalást is gondosan kell megtervezni.

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.5 szakasza szerint víz alatti betonozás során a betont csövön vagy tömlőn kell a bedolgozás helyére juttatni. A cső vagy a tömlő vége mindig kapcsolatban kell álljon a legutóbb elterített betonnal, mivel különben a beton szétosztályozódik, a cementpép kimosódik a betonból. A víz alatti betonozási folyamatot nem szabad megszakítani, és a betonozás alatt a víznek nyugalmi állapotban kell lennie. Ha a vízmélység legfeljebb 1,0 m és a szivattyúcső vagy tömlő kiömlő nyílása a víztükör felett van, akkor a csekély igénybevételű építmények (például talajcserék) betonozása képlékeny betonnal, óvatos előrehaladás mellett, természetes rézsű alkalmazásával végezhető. Áramló vízben vagy szabad eséssel történő víz alatti betonozás esetén a betont megfelelő adalékszerrel és/vagy kiegészítőanyaggal kell elkészíteni, és ennek figyelembevételével kell beépíteni.

22.6. A BETONKEVERÉK TÖMÖRÍTÉSE

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a zsaluzatba elhelyezett betonkeveréket úgy kell tömöríteni, hogy a friss beton a lehető legtömörebb legyen, hiánytalanul kitöltse a rendelkezésre álló teret, és maradéktalanul vegye körül az acélbetéteket, feszítőkábeleket, kábelcsatornákat, valamint a beépítendő szerelvényeket. A kellő tömörség külső jelei: a friss beton tovább már nem ülepedik, felülete elsimul, egyenletesen zárttá válik, miközben vékony (1-2 mm-es) habarcsréteg jelenik meg a felszínén és a légbuborékok távozása gyakorlatilag megszűnik.

A betonozás sebességét az erőtani adottságoktól, a zsaluzat magasságától, a betonkeverék konzisztenciájától és a hőmérséklettől függően úgy kell megválasztani, hogy a friss beton oldalnyomása a megengedett értéket (a szokványos zsaluzatok esetén ez mintegy 60 kN/m^2) ne lépje túl.

A beton összetételét és konzisztenciáját a rendelkezésre álló tömörítő-eszköztől függően kell megválasztani (próbatömörítéssel). A folyós konzisztenciájú (S3, F5, V4) betonkeveréket csömöszöléssel kell tömöríteni. Az önthető konzisztenciájú (S4, F5) betonok általában tömörítést nem igényelnek.

A tömörítést követően a beton felületét lehúzó deszkával, vakolókanállal, vagy motoros simítóval úgy kell kialakítani, hogy a tervezett felület időben elkészüljön. A befejező munka a felületen nem eredményezhet cementtejképződést. A felület kiképzése során víz, cement, felület-keményítő, vagy más anyag nem használható fel, kivéve, ha ezt előírják, vagy ebben megállapodtak.

A tömörítés alatt a betonkeveréket, illetve a friss betont meg kell védeni a káros napsugárzástól, erős széltől, víztől és esőtől."

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.6.1 szakasza szerint a beton tömörítésének módját a konzisztenciától és az alkalmazástól függően kell megválasztani. Ha beton folyós (terülési mértéke 560 mm - 620 mm közötti), akkor a betont nem kell vibrálni, hanem csak egy pálcával (rúddal) vagy léccel el kell igazgatni (stochern). A fúrt cölöpök és résfalak betonja az önsúly hatására tömörödik. Ha a beton nagyon folyós (terülési mértéke 630 mm-nél több), akkor általában nincs szükség különösebb tömörítésre.

A tömörítési tartományoknak függőlegesen és vízszintesen is átfedésben kell lenniük. Ha számítani kell a betömörített friss beton megrepedésére, mert például nagy a betonozási magasság, vagy a beton hajlamos a kivérzésre, akkor az eltarthatósági idő végén a beton felső részét utóvibrálni kell.

22.6.1. Tömörítés kézi erővel

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a kézi tömörítésnek két fajtája használatos: a döngölés és a csömöszölés. A döngölést kis szilárdságú (C22), csekély mennyiségű földnedves (S1, F1, V1, C1) és kissé képlékeny (S1, F2, V2, V3, C1, C2) konzisztenciájú betonkeverékek esetén szabad alkalmazni. A döngölő (10-20) kg tömegű, (100-400) cm^2 alapterületű, alul sík, (100-120) cm hosszú nyéllel ellátott vastömb, amelyet 30 cm magasságból kell a vízszintesen elterített betonkeverékre ejteni úgy, hogy minden ütéskor a döngölő az előzően döngölt felületnek mintegy felét átfedje.

Csömöszöléssel a folyós (S3, S4, F4, F5, C3, C4) konzisztenciájú betonkeveréket kell tömöríteni. A csömöszölő eszköz 2-6 kg tömegű, (100-120) cm hosszú, alul lekerekített acélrúd, amelyet (15-20) cm magasból, sűrűn kell a tömörítendő betonkeverékbe szúrni úgy, hogy a szúrás az előző, már tömörített rétegbe is mintegy 15 cm mélyen behatoljon. Ha a kiemelt rúd nyomot hagy, akkor a csömöszölés módszere már nem alkalmazható.”

22.6.2. Tömörítés merülő vibrátorral

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a merülő vibrátort egyenletes sebességgel, viszonylag gyorsan és merőlegesen kell a vízszintesen elterített betonkeverékbe meríteni és onnan lassan kihúzni úgy, hogy a beton a rázófej mögött összezáródhasson. A rázófejet az előzőleg tömörített rétegbe is legalább (10-15) cm mélységig le kell engedni. A bemerítés és a kihúzás sebességét, a bemerítési helyek távolságát, és a vibrálás időtartamát próbavibrálással kell meghatározni. Ha a beton a kihúzott rázófej helyén nem folyik össze, akkor vagy a vibrátor (rezgésszám, méret stb.), vagy a konzisztencia nem felel meg.

A rétegvastagságot nem szabad 50 cm-nél nagyobbra választani.”

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.6.2 szakasza szerint több rétegben történő betonozás esetén, ha a betonozás megszakadása miatt az alsó réteg olyan merevvé válik, hogy az utóvibrálás lehetetlen (a merülő vibrátor saját súlyánál fogva nem merül a betonba, és nem folyósítja azt meg), akkor munka hézagot (fugát) kell képezni. Ha például magas falakat folyamatosan betonoznak, akkor a merülő vibrátornak a betonban kell maradnia, és a betonozási szint növekedésével kell feljebb húzni. Ferde felületek vibrálását a nagyobb rétegvastagságú helyen kell elkezdeni. Légbuborékképző adalékszeres betont csak annyi ideig szabad vibrálni, amennyi a nagyobb légzárványok kiűzésével a zárt szövetszerkezet kialakításához feltétlenül szükséges.

22.6.3. Tömörítés felületi vibrátorral

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a felületi vibrátor (lap- és pallóvibrátor, vibrohenger) kis vastagságú vízszintes, vagy enyhe lejtésű lemez szerkezetek tömörítésére alkalmas, amelyek egy rétegben betonozhatók, vastagságuk nem nagyobb, mint a felületi

vibrátor hatómélysége. Ha a szerkezet vastagsága nagyobb, mint a felületi vibrátor hatómélysége, akkor a merülő és a felületi vibrálás kombinációját kell alkalmazni.

A felületi vibrátort párhuzamos sávokban (3-5 cm-es átfedéssel), lassú, egyenletes sebességgel kell a tömörítendő betonkeverék felületén mozgatni úgy, hogy a felület minden pontját legalább kétszer kell végigjárni. Ferde felület esetén a mélyebb ponttól felfelé kell haladni."

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.6.4 szakasza szerint a felületi vibrátor (pallóvibrátor vagy lapvibrátor) a mérsékelt vastagságú, vízszintes vagy kis lejtésű betonfelületek tömörítésére alkalmas. A könnyű felületi vibrátorokkal általában legfeljebb 150 mm vastag betonrétegeket lehet tömöríteni. Ha az építmény-beton összvastagsága meghaladja a felületi vibrátor tömörítőképességét, akkor a betont vagy több rétegben kell beépíteni és tömöríteni, vagy a beton alsó tartományát merülő vibrátorral külön tömöríteni kell.

22.6.4. Tömörítés zsalurázó vibrátorral

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a zsalurázó vibrátor vékony, sűrűn vasalt szerkezetek tömörítő eszköze. A szerkezet vastagságától, valamint a vibrátor hatómélységétől függően a zsalurázó vibrátorok felerősíthetők a zsaluzatnak csak az egyik, vagy mindkét oldalára. A vibrátorok számát és elhelyezését próbavibrálással tanácsos meghatározni. Rétegekben kell betonozni. Egy-egy réteg vastagságát nem szabad 50 cm-nél nagyobbra választani."

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.6.3 szakasza szerint a zsaluzatot és a zsaluvibrátorokat úgy kell méretezni, illetve az utóbbiakat elhelyezni, hogy a betont a tervezett vastagságban kifogástalanul tömöríteni lehessen. Rétegekben történő betonozás során a rétegvastagság legyen a konzisztenciával összhangban, így például 420 mm és 480 mm közötti terülési mértékű, F3 konzisztencia osztályú képlékeny beton esetén a rétegvastagság – a zsaluvibrátor jellemzőitől és a beton tulajdonságaitól függően – vízszintes bedolgozás során a 200 mm-t, függőleges bedolgozás során az 50 mm-t ne lépje túl.

22.6.5. Tömörítés hengerrel

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a nagyobb felületű tömegbetonokat, ha konzisztenciájuk földnedves vagy kissé képlékeny, a kellő tömörség érdekében hengerrel szokták tömöríteni. Hengerrel egy rétegben legfeljebb 25 cm vastag betonréteg tömöríthető.

A hengerelt beton (Roller compacted concrete, Walzbeton) a gát- és völgyzárógát-építésben az 1970-es években, a közlekedési pályaszerkezetek építésében elsősorban az Amerikai Egyesült Államokban a legutóbbi években terjedt el."

22.7. Munkahézag

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „munkahézag akkor keletkezik, ha nem valósítható meg, hogy friss beton kerüljön friss betonra. A betonkeverék bedolgozása megszakítható terv szerint, vagy váratlan okból. Munkahézagot csak ott szabad kialakítani, ahol a betonozás megszakítása a szerkezet egységes működését nem veszélyezteti, ahol a betonban számottevő húzó- és nyíróerő nem alakul ki és a csatlakozó felület merőleges a nyomófeszültség irányára.

Látszóbeton esetében a munkahézagnak ezen kívül esztétikai követelményeket is ki kell elégítenie.

A munkahézag felületét fel kell érdesíteni, a portól és törmeléktől – célszerűen nagynyomású vízsugárral – meg kell tisztítani, száraz tisztítás esetén a munkahézag felületét be kell nedvesíteni. A betonozás folytatása előtt a munkahézag felületén maradó vizet el kell távolítani és meg kell várni, amíg a felület matt-nedvessé válik.

A munkahézaghoz csatlakozó első betonréteg készítéséhez használt betonkeveréknek az egyébként használtnál lágyabbnak (ezt képlékenyítő- vagy folyósítószerrel kell elérni) és kisebb szemnagyságúnak (csökkentett D_{max}) kell lennie.

Az új és a régi betonréteg együttdolgozása tapadóhíd felhordásával fokozható.”

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.7 szakaszának értelmezése szerint munkahézag a betonozási szakaszok között akkor keletkezik, amikor a friss betont az előzőleg bedolgozott betonra, annak bedolgozási ideje és kezdeti szilárdulásának megindulása után, dolgozzák be. A munkahézagot a tervező, lehetőleg a kivitelezővel együtt, úgy kell kialakítsa, hogy a munkahézag a külső hatásokat, mint például a hőmérsékletváltozás, a zsugorodás, a kúszás hatását teljes mértékben átadni képes legyen. Látszóbeton esetén a munkahézagokat az esztétikai követelményeknek is alá kell vetni.

A munkahézag kialakítása során a betonrétegek között kellőképpen szilárd és tömör kapcsolat megvalósítására kell törekedni. Ha a rétegek között 1,5 N/mm^2-nél nagyobb tapadószilárdságra van szükség, akkor az érintkező felületeket megfelelő mértékben fel kell érdesíteni (például 600 bar feletti nyomású vízsugárral). Az új betonréteg beépítésekor a már beépített betonrétegen víznek nem szabad állnia, felülete csak fénytelen, azaz mattnedves lehet.

22.8. Betonozás hideg és meleg időben

22.8.1. Betonozás hideg időben

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „betonkészítés szempontjából hidegnek tekintjük azt az időjárást, amikor a környezeti hőmérsékletek átlaga három napon át legfeljebb + 15 °C.

Hideg időjárás esetén a beton alkotóanyagait meg kell óvni a lehűléstől és a csapadéktól. A betonkeverék nem tartalmazhat fagyott rögöket és/vagy jégdarabokat. Fagytól károsodott, vagy megfagyott betonkeverék bedolgozása tilos.

A betonnal érintkező szerkezeti részeknek, vagy zsaluzatnak, talajnak, kőzetnek olyan legyen a hőmérséklete, amely nem okoz fagyást a betonban mielőtt nincs elegendő szilárdsága (mintegy 10 N/mm^2) a fagyhatás elviselésére.

A zsaluzat belső felületéről és az acélbetétekről a havat és jeget el kell távolítani. Fagyott talajra nem szabad betonozni, csak különleges előkészítést követően (például gőzzel fúvatás, lángszórózás).

A beton összetételét az előírt szilárdsági jelhez kell illeszteni, de ellenőrizni kell, hogy a beton szilárdulása az adott feltételek mellett az így számított betonösszetétellel elérhető-e. Ha kétséges a megfelelő szilárdulás, akkor módosítani kell a beton összetételét még akkor is, ha a módosított összetétel az előírt szilárdsági jelnél nagyobb szilárdságú beton készítését eredményezi.

Nagy és gyors hőfejlesztésű cementeket (CEM I) kell alkalmazni.

Ha a keverővíz hőmérséklete + 60 °C-nál nagyobb, akkor azt a cement adagolása előtt az adalékanyaghoz kell hozzáadni.

Ha az átlagos környezeti hőmérséklet + 2 °C-nál nagyobb, akkor a bedolgozott betonkeverék hőmérsékletének legalább + 5 °C-nak kell lennie. Ha az átlagos környezeti hőmérséklet kisebb, mint + 2 °C, akkor a bedolgozott betonkeverék hőmérsékletének, az átlagos környezeti hőmérséklettől függően + 10 és + 30 °C között kell lennie.

A friss beton hőmérsékletét (T_b) az alkotókból a következő képlettel lehet kiszámítani (*Heidelberger Zement* 2009):

$$T_b = \frac{0{,}84 \cdot (c \cdot T_c + a \cdot T_a + k \cdot T_k) + 4{,}2 \cdot v \cdot T_v}{0{,}84 \cdot (c + a + k) + 4{,}2 \cdot v} \quad [°C]$$

ahol:

c, a, k és *v*	a cement, az adalékanyag, a kiegészítőanyag és a víz betonba adagolt tömege [kg/m^3]
T_c, T_a T_k és T_v	a cement, az adalékanyag, a kiegészítőanyag és a víz hőmérséklete [°C]
0,84	a cement és az adalékanyag közelítő fajlagos hőkapacitása (fajhője) [J/kg·K]
4,2	a víz fajlagos hőkapacitása (fajhője) [J/kg·K]

Ha a fagy a friss betont a kötés előtt éri, akkor a beton a fagy elmúltával megszilárdul. Kötés közben megfagyott beton további szilárdulása a fagy elmúltával a fagy mértékétől függ. Kritikus esetben az ilyen beton szilárdsága az építmény állékonyságát veszélyeztetheti. A beton tényleges szilárdságát a fagyott betonból kimunkált próbatesteken, szobahőmérsékleten való tárolás után szilárdságvizsgálattal kell meghatározni.

Az egyszeri megfagyás a fiatal betonban károsodást nem okoz, ha a beton szilárdsága a fagyállósághoz szükséges minimális szilárdságot (10 N/mm^2) elérte. Ha ismételt fagyás-olvadás érheti a betont, akkor meg kell akadályozni a beton átnedvesedését.

A bedolgozott friss betont a fagytól fóliatakarás elhelyezése vagy párazárószer felhordása után hőszőszigetelő, laza paplannal, és ezt az esőtől, hótól védő vízhatlan fóliával lehet megvédeni. A vízhatlan fólián tócsák, átfolyások nem lehetnek.”

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.4.1 szakasza alig tér el az MSZ 4798-1:2004 szabvány L6.1. szakaszától. Eltérés, hogy az osztrák betonszabvány szerint a bedolgozandó betonkeverék hőmérsékletének akkor kell legalább +5 °C hőmérsékletűnek lennie, ha a levegő hőmérséklete a betonozáskor +3 °C felett van, és akkor kell kell legalább +10 °C hőmérsékletűnek lennie, ha a levegő hőmérséklete a betonozáskor +3 °C alatt van. Ha a levegő hőmérséklete a betonozáskor +3 °C alatt van, akkor a követelmények betartásának igazolásához a friss beton hőmérsékletét a zsaluzatba töltéskor és a bedolgozott friss beton felületi hőmérsékletét addig, amíg a beton az 5 N/mm^2 nyomószilárdságot el nem éri, mérni kell. Ugyanis az egyszeri megfagyás a fiatal betonban akkor nem okoz károsodást, ha a beton nyomószilárdsága a megfagyás előtt az 5 N/mm^2 értéket elérte. Az időt, amely az 5 N/mm^2 nyomószilárdság eléréséig eltelik, „fagyvédelmi időnek” (németül: Schutzzeit, Frostschutzzeit)

nevezik, amely alatt törekedni kell arra, hogy a beton felületi hőmérséklete +3 °C alá ne essék. Ha az érdekelt felek abban korábban megegyeztek, akkor például a cementtartalom 50 kg/m^3-rel való megnöveléséhez, vagy az eredetinél gyorsabb hőfejlesztésű cement alkalmazásához nincs szükség újabb kezdeti (első) vizsgálatra.

22.8.2. Betonozás meleg időben

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „betonkészítés szempontjából melegnek tekintjük azt az időjárást, amikor a levegő hőmérséklete tartósan (legalább 4 órán át) +25 °C, vagy ennél magasabb, de legfeljebb +38 °C.

Meleg időjárás esetén a beton alkotóanyagait meg kell óvni a felmelegedéstől (például a szabadtéri adalékanyag tároló árnyékolása, vagy az adalékanyag hűtése permetezéssel). A beton összetételét úgy kell megválasztani, hogy a korai hidratációs hő minél kisebb legyen.

Meleg időjárás esetén teendő intézkedések:

- a beton alkotóanyagainak megóvása a felmelegedéstől (árnyékolással, hűtéssel);
- megfelelő betonösszetétel megválasztása (a korai hidratációs hő elkerülésére): kis hőfejlesztésű, lassan szilárduló cementek (például CEM III/A 32,5 N jelű kohósalakcement vagy CEM III/B 32,5 N-SR jelű szulfátálló kohósalakcement) alkalmazása;
- a betonkeverék gyors bedolgozása;
- a szerkezet hűtése (például árnyékolással, takarással, világos színű zsaluzat alkalmazásával, permetezéssel);
- betonozás az esti órákban.”

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.4.2 szakasza szerint, ha a levegő hőmérsékletének napi csúcsértéke a 28 °C-ot eléri, akkor a betonozás során a következő intézkedésekre van szükség:

- megfelelő, lehetőleg kis hőfejlesztéssel kötő, illetve szilárduló betonösszetételt kell alkalmazni;
- a friss betont hűteni kell, például pikkelyjéggel (vízből különleges fagyasztógéppel előállított, vékony, tört lemezkékből álló jég, németül: Scherbeneis), vagy folyékony nitrogénnel, vagy a betonösszetevők hűtésével;
- a szerkezeti elem hűtésével, például világos színű zsaluhéj alkalmazásával, a szerkezeti elem permetezésével, a vasszerelés előnedvesítésével, a szabad betonfelületek párolgásvédelmével, a szerkezeti elem közvetlen napsugárzástól való védelmével;
- megfelelő intézkedésekkel, például vízhűtéses szivattyúvezeték alkalmazásával, gördülékeny betonbeépítéssel, a friss beton kötéskésleltetésével a munkahézagok kialakulásának megelőzésére, a betonfelület világos színű textiltakarásával;
- délutáni és esti betonozással.

Ha a beton hőmérséklete a szilárdulás során nem emelkedik 40 °C fölé, és a legnagyobb és legkisebb hőmérséklet átlaga több, mint 19 °C, akkor a beton túlzott felmelegedése ellen a bedolgozott beton felületét a legnagyobb hőmérséklet eléréséig, de legalább 72 órán át, folyamatosan vízzel kell permetezni. A permetezést a kötés kezdetén kell elkezdeni.

22.9. KÜLÖNLEGES BETONOZÁSI FELADATOK

Egyéb különleges betonozási feladatok elvégzésének feltételeiről szakértők adhatnak, illetve kiadványokban (például a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás) találhatunk tájékoztatást.

22.10. UTÓKEZELÉS

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a kötés és a szilárdulás során biztosítani kell a beton

- kellő nedvesség-tartalmát,
- megfelelő hőmérsékletét és
- rezgésmentességét.

Ezen kívül meg kell akadályozni a beton kimosódását eső, vagy áramló víz hatására.

Az utókezelési eljárásoknak két csoportja van:

- a beton nedvesen-tartása és
- a keverővíz elpárolgásának megakadályozása.

A nedvesen-tartás végezhető permetezéssel, elárasztással és nedvesen tartott anyagokkal való letakarással. A párolgás a zsaluzatnak a betonon való tartásával, ponyvával, vagy műanyag fóliával való hermetikus letakarással és párazáró bevonat felhordásával akadályozható meg. A jó szilárdulás és a kis zsugorodás szempontjából a legjobb eredmény a vízzel való folyamatos nedvesen-tartással érhető el.

Párazáró bevonatot nem szabad felhordani szerkezeti kapcsolatokban, kezelendő felületekhez, vagy olyan felületekhez, ahol más anyag tapadása kívánatos, kivéve, ha a bevonat a következő művelet előtt eltávolításra kerül, vagy bizonyított, hogy a bevonatnak nincs káros hatása a következő műveletre.

A párazáró bevonat behatolhat a betonba, és ezért nagyon nehéz maradéktalanul eltávolítani. Eltávolítása homokfúvással, vagy nagynyomású vízsugárral eredményes.

A kellő hőmérséklet biztosítása érdekében általában csak + 15 °C-nál alacsonyabb és + 25 °C-nál magasabb átlagos hőmérséklet esetén kell különleges intézkedéseket tenni.

A fiatal betont óvni kell a rázkódástól, a káros rezgéstől és az acélbetétek megmozdításától. Gondosan ügyelni kell az állvány és a zsaluzat alaktartósságára és elmozdulás-mentességére (ne süllyedjen).

Az utókezelés legrövidebb időtartamát a hőmérséklettől, a beton szilárdulásának sebességétől, a napsugárzás erősségétől, a szél sebességétől és a levegő nedvesség-tartalmától függően általában 3 és 12 nap között célszerű megválasztani.

Hosszabb utókezelést kell előírni, ha a beton erős koptatásnak, vagy más szigorú környezeti körülményeknek (például nagymértékű agresszív hatásnak) van kitéve.

Nagytömegű betonszerkezetek esetében a hőmérséklet különbségekből eredő káros feszültségek elkerülésére megfelelő intézkedéseket kell tenni, mindenekelőtt az utókezelés időtartamát kell megnövelni.

A választott utókezelési időtartamot követően is csak lassan szabad a betont kiszáradni hagyni (például hézagos kizsaluzás).

Az utókezelés konkrét időtartamát és annak módját a betontechnológus bevonásával az építkezés felelős műszaki vezetőjének kell meghatározni."

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.5 szakasza szerint a tömör beton-szövetszerkezet és a repedésekben szegény betonfelület készítése érdekében a betont a kellő kötésig a káros hatásoktól meg kell védeni. Az osztrák betonszabvány szerint az utókezelés hármas célt szolgál:

- védi a beton felületét az idő előtti kiszáradástól;
- megakadályozza a beton felületének túlzott lehűlését vagy felmelegedését;
- megakadályozza a gyors hőmérsékletváltozást a beton felületén.

A párazáró bevonat készítése során a megfelelő mennyiségű utókezelőszert (németül: Nachbehandlungsmittel) legalább kétszeri permetezéssel kell a bedolgozott beton felületére felhordani. Annak érdekében, hogy a ferde és függőleges felületekről ne folyjon le, az utókezelőszer tixotróp tulajdonságú kell legyen. Ha nincs esztétikai követelmény, akkor színes utókezelőszer alkalmazása ajánlható.

Az utókezelés ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szerint megkövetelt idejét a beton 2 és 28 napos átlagos nyomószilárdságának hányadosa és a környezeti osztály függvényében könyvünk *41. táblázata* tartalmazza. A betont a megkövetelt utókezelési idő után is óvni kell a gyors kiszáradástól. A kiszáradás veszélye különösen nagy, ha a beton a levegőnél melegebb. A tömegbetonok, illetve nagyobb tömegű betonok jelentősebb hőmérsékletváltozása megfelelő intézkedésekkel, mindenek előtt azonban az utókezelési idő meghosszabbításával kerülhető el. A *41. táblázatban* foglalt utókezelési idők végén a betont – a levegőhőmérséklet figyelembevételével – a rá vonatkozó környezeti osztálybeli hatásnak általában ki lehet tenni. Az XF4 környezeti osztályban legalább 7 napos utókezelésre van szükség.

22.11. KIZSALUZÁS

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a zsaluzat és az állványzat eltávolítását akkor szabad megkezdeni, ha a beton kellő szilárdságú. Kétség esetén a beton kellő szilárdságát a szerkezet mellett tárolt, azonos módon utókezelt, a szerkezet készítéséhez felhasznált betonkeverékből készített próbatestek vizsgálati eredményével kell igazolni.

A szilárdulás gyorsítását vagy lassítását szolgáló anyagok és módszerek alkalmazása esetén a beton kizsaluzási időpontjáról a szerkezettel egyidőben készített, azzal azonos módon utókezelt próbatestek szilárdságvizsgálati eredménye alapján kell dönteni.

Kizsaluzáskor a szerkezetet rázásnak, lökésnek és ütésnek kitenni nem szabad.

Ha a kizsaluzás során az állékonyságot veszélyeztető hiba, vagy jelenség mutatkozik, akkor a bontást azonnal abba kell hagyni. A továbbiakban az építkezés felelős műszaki vezetőjének utasításai szerint kell eljárni.

Kizsaluzáskor a keresztmetszetben fellépő hőmérséklet-különbség nem haladhatja meg a 20 °C hőmérsékletet.

Az oldalzsaluzat, illetve a teherhordó zsaluzat és állványzat eltávolítása időpontjának meghatározásához, +15 °C és +25 °C közötti átlagos napi környezeti hőmérséklet mellett – más előírás hiányában – az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD L1. táblázatának (könyvünk *73. táblázata*) és a NAD L2. táblázatának (*74. táblázat*) adatait szabad figyelembe venni.

A kizsaluzás időpontját annyi nappal kell meghosszabbítani, ahány nap átlagos hőmérséklete 0 °C alatt volt.

A MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD L1. táblázatban (könyvünk *73. táblázata*) megadott határidőknél rövidebb időpont kijelölésekor szilárdságvizsgálattal kell igazolni, hogy a beton nyomószilárdsága legalább 3 N/mm^2.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD L2. táblázatában (*74. táblázat*) megadott időpontok rövidíthetők, ha a szilárdságvizsgálat igazolta, hogy a beton már korábban elérte a 28 napos korra előírt nyomószilárdság 80 százalékát. A nyomószilárdság roncsolásmentes vizsgálattal is igazolható. Az időpontok akkor is megrövidíthetők, ha statikai számításokkal bizonyított, hogy

a vizsgálattal meghatározott szilárdság megfelelő biztonsággal képes elviselni a betont érő terhelést a kizsaluzás után.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD L1. és NAD L2. táblázatában (könyvünk *73.* és *74. táblázata*) megadott kizsaluzási időpontokat a tervezőnek kell meghosszabbítania, ha a szerkezet biztonsága ezt más szempontokból megköveteli (például nagy zsugorodási alakváltozás elkerülése, a beton hővédelme).”

73. táblázat: Az oldalzsaluzat eltávolításának legkorábbi időpontja az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD L1. táblázata szerint, ha a napi középhőmérséklet +15 °C és +25 °C közé esik, és az ÖNORM B 470-1:2007 szabvány NAD 18 táblázata szerint, ha a napi középhőmérséklet +12 °C és +20 °C közé esik

A cement szilárdsági osztálya MSZ 4798-1	A beton szilárdulási üteme ÖNORM B 4710-1	A beton szilárdsági osztálya			
		C8/10	C12/15	C16/20	C20/25 és nagyobb
		Az oldalzsaluzat eltávolításának legkorábbi időpontja, nap			
CEM 32,5	Lassú	3	2	2	1
CEM 42,5	Közepes	-	2	1	1
CEM 52,5	Gyors	-	-	1	1

74. táblázat: A teherhordó zsaluzat és állványzat eltávolításának legkorábbi időpontja az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD L2. táblázata szerint, ha a napi középhőmérséklet +15 °C és +25 °C közé esik, és az ÖNORM B 470-1:2007 szabvány NAD 19 táblázata szerint, ha a napi középhőmérséklet +12 °C és +20 °C közé esik

A cement szilárdsági osztálya MSZ 4798-1	A beton szilárdulási üteme ÖNORM B 4710-1	A beton szilárdsági osztálya					
		C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
		A teherhordó zsaluzat és állványzat eltávolításának legkorábbi időpontja, nap					
CEM 32,5	Lassú	21	20	19	17	15	-
CEM 42,5	Közepes	18	17	15	12	10	10
CEM 52,5	Gyors	14	13	12	10	8	6

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.6.1 szakasza szerint a zsaluzat és az állványzat eltávolítását akkor szabad megkezdeni, ha a felelős építésvezető meggyőződött arról, hogy a beton kellő szilárdságú, és fagykárosodás nem érte, alakváltozás- és feszültségmentes.

Az osztrák betonszabvány 14.6.2 szakasza szerint az oldalzsaluzatot és állványzatot könyvünk *73. táblázata* szerinti kizsaluzási idő után akkor szabad eltávolítani, ha az előírt utókezelési idő (lásd könyvünk *22.10. fejezetét*), vagy egyéb szempont mást nem követel. Kétség esetén, vagy ha a *73. táblázat* szerinti megkövetelt kizsaluzási időt nem tartják be, szilárdság vizsgálattal meg kell győződni arról, hogy a beton nyomószilárdsága elérte 3,0 N/mm^2 értéket. Különleges betonozási és zsaluzási módszerek esetén (például vibropréselés, csúszózsaluzatos betonozás) a követelmények az iméntiektől eltérhetnek.

A teherhordó zsaluzat és állványzat eltávolításának az osztrák betonszabvány 14.6.3 szakasza szerinti legkorábbi időpontja könyvünk *74. táblázatában* található, amelytől csak akkor szabad eltérni, ha a kizsaluzási idő meghosszabbításának vagy lerövidítésének nyomós indoka van.

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.6.4 szakasza szerint a kizsaluzási idő meghosszabbításának vagy lerövidítésének mérlegelése során a következőkre kell figyelemmel lenni:

1. A *73.* és *74. táblázat* legkorábbi kizsaluzási idejei akkor érvényesek, ha a napi középhőmérséklet +12 °C és +20 °C közé esik. A napi középhőmérséklet alatt az építmény közelében mért legnagyobb és legkisebb levegőhőmérséklet átlagát kell érteni. Azokat a napokat, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet +5 °C és +12 °C közé esik, csak 0,7-es szorzóval szabad, azokat, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet 0 °C és +5 °C közé esik, csak 0,3-es szorzóval szabad, azokat pedig, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet +20 °C felett van, 1,3-es szorzóval szabad számításba venni. A *73.* és *74. táblázatban* megadott legkorábbi kizsaluzási időt a 0 °C alatti napi közepes levegőhőmérsékletű napok számával meg kell hosszabbítani.
2. A tervező a megadott legkorábbi kizsaluzási időt akkor is meghosszabbíthatja, ha az építmény biztonságának szempontjai (például nagy kúszások megelőzése, a beton hővédelme) azt megkövetelik.
3. A *74. táblázatban* szereplő legkorábbi kizsaluzási idők akkor csökkenthetők, ha szilárdság vizsgálattal meggyőződnek arról, hogy a beton az előírt nyomószilárdsági osztályhoz tartozó 28 napos nyomószilárdság 80 %-át már elérte. Az erről szóló igazolást roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálat alapján is ki lehet állítani. A kizsaluzási idő akkor is csökkenthető, ha statikai számítással bizonyítják, hogy a szilárdság vizsgálattal meghatározott nyomószilárdság a kizsaluzás után fellépő terhek biztonságos hordásához elegendő, és a kizsaluzási idő csökkentése ellen más érv nem szól.

22.12. BETONTECHNOLÓGIAI UTASÍTÁS

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete szerint „a betonozási munkákhoz a munkahelyi adottságokat figyelembe vevő betontechnológiai utasítást kell készíteni. Tárgykörébe tartoznak az alkotóanyagokkal és a betonnal szemben támasztott követelmények, a munkahely előkészítése, a beton keverése, szállítása és bedolgozása, az utókezelés, a minőség ellenőrzése, továbbá a vonatkozó munkavédelmi és környezetvédelmi előírások.

A betonozási munkákkal kapcsolatos egyéb munkák, úgymint a zsaluzási és a betonacél-szerelési munkák külön technológiai előírások tárgykörébe tartoznak.”

A betonozás feleljen meg az MSZ 4798-1:2004 szabvány L melléklete és az MSZ EN 13670:2010 szabvány 8. fejezete és F melléklete előírásának, illetve ajánlásának.

22.12.1. Példa egy monolit vasbeton vázszerkezetű, vastag födémes ipari tartószerkezet építésének betontechnológiai utasítására

22.12.1.1. Alkotóanyagokkal és a betonnal szemben támasztott követelmények, példa

Az alkotóanyagokkal és a betonnal szemben támasztott követelmények feleljenek meg az MSZ 4798-1:20014 szabvány előírásainak.

22.12.1.2. Betonozás előtti ellenőrzés, példa

A betonozást csak a zsaluzat, a betonacélszerelés és a vasszerelvények ellenőrzése után és azok kifogástalan állapota esetén szabad megkezdeni.

A zsaluzat használatbavétele előtt ellenőrizni kell, hogy a zsaluzat és az alátámasztó állványzat megfelel-e a tervek szerinti helyzetre, állékonyságra, méretre, ideiglenes nyílás kialakításra, anyagminőségre, szilárdságra vonatkozó követelményeknek, kielégíti-e a felületére, hézagtömítésére vonatkozó kívánalmakat.

A betonacélszerelés ellenőrzése terjedjen ki a betonacélok terv szerinti helyzetének, névleges méretének, darabszámának, az acélszerelés merevségének és a betonszálak illesztésének ellenőrzésére.

Külön kell ellenőrizni a betonfedést, azaz a kengyelek külső vonala és a zsaluzat közötti távolságot.

A betonacélszerelés szennyeződéstől mentes kell, hogy legyen.

A betonba kerülő szerelvények megfelelő helyzetét, méretét, állapotát és tisztaságát is ellenőrizni kell.

A sűrű vasalású felső födém betonozása akkor zavartalan, ha a betont a felső betonacél-szerelésen csővezetéken keresztül juttatják a zsaluzatba. Ezt a több sorban futó felső betonacél-szerelésnek a betonozás idejére történő helyi megbontásával lehet megoldani.

22.12.1.3. A beton összetételének előzetes laboratóriumi ellenőrzése és építéshelyi próbakeverés, példa

Laboratóriumban végzett előzetes kísérletekkel ellenőrizni kell, hogy a transzportbetongyári betonösszetételek és folyósító adalékszer hozzákeverésével kapott építéshelyi betonösszetétel megfelel-e a friss beton és a megszilárdult betonnal szemben támasztott követelményeknek. Ha a beton valamely követelménynek nem felel meg, akkor az előkísérletek eredménye alapján a betonösszetételt módosítani szükséges. A betonösszetétel módosítását a betontechnológus utasítása alapján kell végezni.

Ellenőrizni szükséges valamennyi betonösszetételre

- a friss beton konzisztenciáját terülés méréssel (MSZ EN 12350-5),
- a bedolgozott friss beton testsűrűségét (MSZ EN 12350-6),
- a szabványosan tárolt, megszilárdult beton testsűrűségét (MSZ EN 12390-7) és nyomószilárdságát 28 napos korban (MSZ EN 12390-3).

Adatokat kell gyűjteni az építéshelyi összetétellel rendelkező beton kötési folyamatának korai szakaszáról és a kizsaluzhatósághoz a beton szilárdulási folyamatáról olyan 7 napos próbatestek segítségével, amelyeket az építéshelyi körülményeknek megfelelően tárolnak.

Ugyanilyen próbatest tárolási mód mellett meg kell vizsgálni, hogy a kötéskésleltető adalékszer adagolásának milyen késleltető és folyósító hatása van a folyósítószerrel való együttes alkalmazás esetén a födémbe kerülő építéshelyi betonra.

Az acélhuzalszál adagolású beton tulajdonságainak nincs minősítő ereje. Laboratóriumi előkísérleteket mégis kell az acélhuzalszál adagolású betonnal végezni annak megállapítására, hogy az acélhuzalszál miként változtatja meg a tervezett összetételű beton konzisztenciáját és megváltoztatja-e (ami nem várható) a beton nyomószilárdságát. Ezek ismeretére azért van szükség, mert az építéshelyen nem lehet teljesen különválasztani a folyósítószer és az acélhuzalszál betonba való bekeverését, mert az a keverési időt jelentékenyen meghosszabbítaná Ezért az építéshelyen nem tervezzük a mixer-gépkocsis keverést két részre bontani és így nem tervezünk külön mintavételt a folyósított, de még acélhuzalszálat nem tartalmazó betonból, hanem mintát csak az egyfolyamatú keverés végén veszünk.

Külön figyelmet kell fordítani a födémekbe kerülő beton konzisztenciájára, és meg kell ítélni, hogy a konzisztencia megfelelő-e ahhoz, hogy a beton a zsaluzatok között elterüljön. A beton képlékenységét vízadagolás növelésével fokozni nem szabad.

A transzportbeton gyárban megkevert minden típusú betonnal próbakeverést kell végezni az építéshelyen, mert ismert, hogy a beton nagy tömegben kissé másképp viselkedik, mint a laboratóriumi minta. A transzportbeton gyárban készítsenek valamennyi betonféleségből egy-egy mixer-gépkocsira való keveréket, azt szállítsák mixer-gépkocsival az építéshelyre, ott végezzék el a friss beton összetételének építéshelyi beállítását, és ellenőrizzék, hogy a friss beton konzisztenciája, a belőle készített betonpróbakocka testsűrűsége megfelel-e a követelményeknek, a szivattyúzhatóságnak, a bedolgozhatóságnak. Egyúttal, akár ismétlésekkel is begyakorolhatják az építéshelyi vizsgálatok és összetétel beállítások módját. Az építéshelyi próbakeverés betonját ne építsék be a vasbeton szerkezetbe, hanem egyéb módon hasznosítsák.

22.12.1.4. A beton keverése a transzportbeton gyárban, példa

A transzportbeton keverésére olyan betonkeverő üzem alkalmas, amelynek műszaki és személyi felkészültsége az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti minőségű beton előállítását lehetővé teszi, és amely a beton minőségének ellenőrzésére és megfelelőségének vizsgálatára vonatkozó feltételeket magára nézve kötelezően elfogadja.

A transzportbetongyár e betontechnológiában leírt anyagok felhasználásával és betonösszetétellel kell a minőségi jelének megfelelő transzportbetont megkeverje.

Az adalékanyagot szükség szerint úgy kell 1 mm vagy 2 mm alatti homokkal javítani, hogy a szemmegoszlás 4 mm alatti frakciójának 0,25 mm alatti finomhomok tartalma a követelménynek megfeleljen.

A betongyári konzisztencia jele: F2 (kissé képlékeny).

A betongyárban a betonba adalékszert vagy acélszálat nem keverünk.

A betont úgy kell kiadni, hogy a mixer-gépkocsiban lévő beton tömege és a cement tömege nagypontossággal ismert és bizonylatolt legyen, mert a beton építéshelyen történő konzisztencia beállításának ez egyik fontos feltétele.

A betongyárban beton mixer-gépkocsikba való töltésének időpontját úgy kell meghatározni, hogy azok a szállítási távolság és körülmények figyelembevételével a megadott időben az építéshelyre érkezzenek.

22.12.1.5. A beton szállítása, példa

A mixer-gépkocsiknak és működtetésüknek meg kell felelni az előírásoknak. A mixer-gépkocsik tulajdonosának vállalnia kell, hogy az építéshelyen a beton készre keverését gépkocsijaival elvégzi.

A transzportbeton gyár az építéshelytől olyan távolságra legyen, hogy a beton a gyári megkeveréstől számított 30 percen belül az építéshelyre kerüljön, hogy ott további legfeljebb 15-percen belül bedolgozása megkezdődhessék.

Szállítás alatt a mixer-gépkocsi dobját lassú forgással (a legkisebb, 2-6 fordulat/perc fordulatszámmal) folyamatosan kell forgatni.

A mixer-gépkocsiban szállítás közben a betonhoz sem vizet, sem adalékszert, sem más anyagot keverni nem szabad.

A beton keverését és szállítását úgy kell megszervezni, hogy bármiféle esetleges akadályról az építéshely kellő időben értesüljön.

22.12.1.6. A friss beton összetételének építéshelyi beállítása, példa

A friss beton végleges összetételét az építéshelyen a mixer-gépkocsi dobjában kell összeállítani, azt a gépkocsi megérkezése után haladéktalanul meg kell kezdeni.

Még az adalékszerek beöntése előtt vett betonmintából a transzportbeton gyári összetételű beton ellenőrzésére, napi egyenletes eloszlásban, minden beton fajtából készíteni kell 6 db 150 mm élhosszúságú betonpróbakockát 28 napos nyomószilárdság vizsgálat céljára.

Az építéshelyen a mixer-gépkocsiban lévő betonhoz kell adagolni a folyósítószert, a rétegek összevibrálhatósága és a felső réteg felületképzése érdekében födémek esetén a kötéskésleltetőszert, zsugorodás és repedés csökkentési céllal a födémek belső rétegeibe kerülő betonba az acélhuzalszálat. Ennek munkafolyamata a következő:

- A transzportbeton szállítmányt kísérő iratokból minden esetben meg kell határozni a mixer-gépkocsiban lévő beton és cement tömegét.
- Az építéshelyen minden mixer-gépkocsi betongyári keverékéből mintát kell venni. A forgódobürítés elején vett betonminta nem megbízható, ezért meg kell figyelni, hogy a mixer-gépkocsi ürítése közben a beton minősége szemmel láthatóan nem változik-e, és ha esetleg igen, akkor a mintavételnél erre tekintettel kell lenni.

Meg kell mérni az MSZ EN 12350-5 szabvány szerinti terülési mértéket. A mérés eredményét össze kell hasonlítani a követelménnyel és a kettő viszonyából meg kell határozni a tervezési és előkísérleti adatok ismeretében a mixer-gépkocsiba öntendő folyósítószer literben kifejezett mennyiségét. Ezt úgy végezzük el, hogy a mixer-gépkocsiban lévő cement tonnában kifejezett tömegét megszorozzuk a folyósítószernek az 1,0 tonna cementre vett tervezett vagy módosított, literben kifejezett adagolási térfogatával.

Ugyanilyen módon számítjuk ki a födémek betonja esetén a mixer-gépkocsiba öntendő kötéskésleltetőszer literben kifejezett mennyiségét.

Az építéshelyen az adalékszert szakszerűen kell tárolni és használatbavétel előtt alaposan fel kell keverni.

A vasbeton födémeket több rétegben betonozzuk. A betonozás belső rétegeiben betonacél szerelés nincs. Ezekben a rétegekben a beton zsugorodási és repedési hajlamát úgy csökkentjük, hogy az építéshelyen a betonba 20 kg/bedolgozott beton m^3 adagolással acélhuzalszálat keverünk. Minthogy egy zsákban 20 kg acélhuzalszál van, minden bedolgozott 1 m^3 betonra 1 zsák acélhuzalszál adagolás esik. Ennek a mixer dobba való adagolási mennyiségét úgy számítjuk ki, hogy meghatározzuk a

$$\frac{\text{Mixer dobban lévő beton tömege kg} - \text{ban}}{2400}$$

hányadost, és a kapott értéket egészszámra felfele kerekítjük.

Ha a mixer keverődobjában például 11800 kg beton van, akkor a hányados 11800/2400 = 4,92, és ezt egészszámra felfele kerekítve azt kapjuk, hogy a keverődobba 5 zsák acélhuzalszálat kell bedobni papírzsákostól.

Az építéshelyi betont a mixer-gépkocsi keverődobjának gyors járatásával (10-14 fordulat/perc) kell készre keverni. A mixer-gépkocsiban való gyors járatú keverések száma folyósítószer bekeverése esetén legalább 70 fordulat, a keverési idő 5-7 perc, folyósítószer és kötéskésleltőszer bekeverése estén legalább 80 fordulat, a keverési idő 6-8 perc. A födémek

belső rétegeibe kerülő betonba acélhuzalszálat kell keverni úgy, hogy a folyósítószer és a kötéskésleltetőszer beöntése után 3-4 perccel kezdve, félpercenként szabad 1-1 zsákot (zsákkal együtt) a keverődobba dobni. Ebben az esetben a keverési idő a folyósítószerrel és kötéskésleltetőszerrel való keveréssel együtt összesen 14-16 perc, de az utolsó acélhuzalszál-zsák bedobásától számítva 8-10 perc, az összes fordulat száma 160, de az utolsó acélhuzalszál-zsák bedobásától számítva 100 fordulat.

Az építéshelyen készre kevert betonból mixer-gépkocsinként mintát kell venni.

Meg kell mérni a beton terülési mértékét. A betont akkor szabad a mixer-gépkocsi dobjából a betonszivattyú anyagfogadó bunkerébe üríteni, ha konzisztenciája megfelel az F3 képlékeny konzisztencia osztálynak. A födémekbe kerülő beton a kötéskésleltetőszer folyósító hatásának következtében ennél kissé folyósabb is lehet (de önthető konzisztenciájú ne legyen), ami megengedhető azért, hogy a beton a zsaluzatban jobban elterüljön. Acélhuzalszál adagolású beton esetén külön is tekintettel kell lenni a laboratóriumi előkísérletek konzisztenciára vonatkozó tapasztalataira.

A beépítésre kerülő betonból fajtánként és naponta, előre megtervezett időpontokban egyenletesen elosztva készíteni kell 6 db 150 mm élhosszúságú betonpróbakockát 28 napos, és 6 db 150 mm élhosszúságú betonpróbakockát 7 napos nyomószilárdság vizsgálat céljára. A betonkockákat egyértelmű jelöléssel kell ellátni. Valamennyi 28 napos nyomószilárdság vizsgálatra szánt próbakockát szabványos körülmények között, valamennyi 7 napos nyomószilárdság vizsgálatra szánt próbakockát az építménnyel azonos időjárási körülmények között kell a nyomószilárdság vizsgálat idejéig tárolni. Ha a 7 napos vizsgálatra szánt próbakockák közül az első három nyomószilárdsága átlagban nem éri el a kizsaluzáskor szükséges értéket, akkor a másik három próbakocka nyomószilárdság vizsgálatát későbbi időpontra kell halasztani.

A szerkezeti elem kizsaluzhatóságát a 7 napos nyomószilárdság vizsgálati eredmények alapján lehet eldönteni, de a födémek esetén ebben a beton belsejének és a kültéri levegőnek a hőmérséklet különbsége is szerepet játszik. A betont 28 napos nyomószilárdság vizsgálati eredmények alapján a szerződésben meghatározott feltételek szerint kell minősíteni.

22.12.1.7. A betonozás időigénye és ütemezése, példa

A betonozás ütemezéséhez a *75. táblázatban* két darab, óránként legalább 10 m^3 bedolgozott beton továbbítására alkalmas szivattyú folyamatos munkáját vettük számításba.

22.12.1.8. A beton szivattyúzása, példa

22.12.1.8.1. A beton szivattyúzásának általános szempontjai, példa

A készre kevert betont betonszivattyúval, kiépített szállítóvezetéken keresztül kell a beépítés helyére továbbítani. A betonszivattyú működtetésére és a szállítóvezeték kiépítésére vonatkozó szabályokat be kell tartani.

A munkához két darab óránként legalább 10 m^3 bedolgozott beton továbbítására alkalmas szivattyúra és egy ugyanilyen teljesítményű tartalék szivattyúra van szükség. A két szivattyúhoz két külön szállítóvezeték csatlakozik. A szállítóvezetékek vízszintes és függőleges szakaszokból áll. A szállítóvezeték függőleges szakaszának tartásához, emeléséhez, mozgatásához darura van szükség, mert a betonszivattyúk gémkinyúlása csak 18 m.

A betonszivattyú vezeték belső átmérője legalább 100 mm legyen. A beton szabad esését legfeljebb 50 cm magasból engedjük meg, azaz a szállítóvezeték leszálló függőleges szakaszának vége legfeljebb 50 cm-rel legyen a betonréteg fölött.

75. táblázat: Példa egy monolit, vasbetonvázas ipari vasbetonszerkezet betonozásának ütemezésére

Szerkezeti elem	Szint magassága m	Beton mennyiség betömörített m^3	A beton bedolgozásának időigénye, óra	Folyamatos betonozás óra
Pillérek és gerendák	100,0 - 104,8	118	8	8
Állványozási, zsaluzási, betonacél szerelési, szerelvény elhelyezési szünet				
Pillérek és gerendák	104,8 - 112,0	131	10	10
Állványozási, zsaluzási, betonacél szerelési, szerelvény elhelyezési szünet				
Pillérek és gerendák	112,0 - 117,2	68	5	5
Állványozási, zsaluzási, betonacél szerelési, szerelvény elhelyezési szünet				
Födém, 80 cm vastag	117,2 - 118,0	213		
1. réteg 20 cm vastag		54	4	16 óra betonozás és rétegenként 2-3 óra betonozási szünet, összesen kb. 16 + 5 = 21 óra hosszú, egyfolytában végzendő munka
2. réteg 40 cm vastag		107	8	
3. réteg 20 cm vastag		54	4	
Állványozási, zsaluzási, betonacél szerelési, szerelvény elhelyezési szünet				
Pillérek és gerendák	118,0 - 121,75	45	3	3
Állványozási, zsaluzási, betonacél szerelési, szerelvény elhelyezési szünet				
Födém, 175 cm vastag	121,25 - 123,0	367		
1. réteg 20 cm vastag		42	3	24 óra betonozás és rétegenként 2-3 óra betonozási szünet, összesen kb. 24 + 10 = 34 óra hosszú, egyfolytában végzendő munka
2. réteg 45 cm vastag		94	6	
3. réteg 45 cm vastag		94	6	
4. réteg 45 cm vastag		95	6	
5. réteg 20 cm vastag		42	3	
Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.3 szakasza és *Weber* (2010) szerint a betonozás során a rétegvastagság legfeljebb 50 cm legyen.				

A szivattyúzás megkezdése előtt biztosítani kell a csővezeték belső felületén a betonkeverék zavartalan továbbításához szükséges kenőfilmet, ami 100 kg cementből készített tejfel sűrűségű cement + víz pépből áll. A kenőkeveréket a zsaluzatok közé engedni szigorúan tilos.

A betongyári kiadást követően a betont másfélórán belül be kell dolgozni. Szabály, hogy a betonozás – kivéve a *75. táblázat* szerinti szüneteket, illetve a szállítóvezeték csővégének áthelyezéséhez szükséges rövid időket – folyamatos legyen, a betonszivattyú kiürülése és az új szállítmány betöltésének kezdete között legfeljebb félóra telhet el.

Ha a szivattyúzási üzemszünet félóránál több, akkor a szállítóvezetékből a betont ki kell nyomatni, a szivattyút és a vezetéket vízzel ki kell tisztítani. Ezt kell tenni műszak után és betonreceptúra váltások idején is. Az elbontott csőszakaszokat is vízzel azonnal ki kell mosni.

22.12.1.8.2. A beton szivattyúzásának és elterítésének szempontjai a födémek betonozása esetén, példa

A szivattyúzást párhuzamos elrendezésben két szivattyú végzi. A betonozást lehetőleg a szivattyúktól legtávolabb eső ponton kezdjük meg. A két szivattyúhoz két szállítóvezeték tartozik. A két szállítóvezetékkel célszerű egymáshoz közel dolgozni, hogy a betonadagok összevibrálására ne túl későn kerüljön sor.

A mixer-gépkocsiban lévő betonadag továbbítása után a következő mixer tartalmának szivattyúzása előtt rövid szivattyúzási szünetet kell tartani azért, hogy a szállítóvezeték kifolyó csővégződését új állásba lehessen helyezni.

Mindkét födém alsó és felső betonacél szereléssel rendelkezik. A födémek betonozásakor a betonacél szerelést tekintve fontos szempont, hogy a felső betonacél szerelésen a szállítóvezeték csövének végződésével átvezessük a betont, hogy

- teljesíteni lehessen azt a követelményt, hogy a beton szabadon ne essen mélyebbre, mint 50 cm;
- a beton a felső betonacél szerelésen ne verődjék szét, ne osztályozódjék szét;
- a felső betonacél szerelés ne szennyeződjék, mert a rátapadó cementpép rászárad és rontja a később rákerülő beton és a cementpépes betonacél tapadását, együttdolgozását;
- a szállítóvezetékből kiömlő beton dinamikusan ne vegye igénybe a felső betonacél szerelést.

A betont tűvibrátorral tömöríteni szükséges, ezért a födémek felső betonacél szerelésén keresztül a tűvibrátorokat is le kell ereszteni a betonrétegekbe, és erre lehetőséget kell találni felső födém esetén is.

A födémek betonozása rétegekben történik. Fontos a „friss a frissre” elv alkalmazása. Ha a technológia lehetővé teszi, akkor 35 cm-nél nagyobb rétegvastagságot ne alkalmazzunk. Abban az esetben, ha a feladatot ennél nagyobb rétegvastagsággal kívánjuk megoldani, akkor vegyük tekintetbe, hogy a rétegek vastagsága az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 14.3.3 szakasza és *Weber* (2010) szerint nem lehet több, mint 50 cm. E példa szerint a födémek a következő vastagságú rétegek betonozásával készülnek:

– az alsó födém (+ 118,0 szint) esetén: 20 + 40 + 20 cm = 80 cm
– a felső födém (+123,0 szint) esetén : 20 + 45 + 45 + 45 + 20 cm = 175 cm

A 20 cm vastag alsó és felső réteg acélhuzalszál adagolás nélküli, a 40-45 cm vastag középső rétegek *acélhuzalszál* adagolású betonnal készülnek.

Az alsó födém (+ 118,0 szint) alapterülete: 21,2 * 12,8 = 271 m^2

A felső födém (+123,0 szint) alapterülete: 271 - 2 * 27 = 271 - 54 m^2 = 217 m^2

A szállítóvezeték csővégének helyét betonozás közben csak a mixer-gépkocsiban lévő betonadag elfogyását követően szabad megváltoztatni, addig állása változatlan. Az adott

állásban a betonáramlás alatt a csővége mozgatható, de ennél sokkal jobb az elosztófej alkalmazása, hogy a beton ne egy pontra zúduljon.

Ha feltételezzük, hogy a mixer-gépkocsiban 5 m^3 bedolgozott térfogatú betonadag van, és ez a betonadag a szállítóvezeték kifolyási csővégének változatlan állásában kerül a zsaluzat közé, akkor

- az alsó födém (+118,0 m szint) alsó és felső 20 cm vastag rétegének betonozásához 12 csővég állás;
- az alsó födém (+118,0 m szint) középső 40 cm vastag rétegének betonozásához 24 csővég állás;
- a felső födém (+123,0 m szint) alsó és felső 20 cm vastag rétegének betonozásához 10 csővég állás;
- a felső födém (+123,0 m szint) középső 45 cm vastag rétegeinek betonozásához 19 csővég állás szükség.

Ha valamely betonréteg felületén a száradás jelei mutatkoznak, akkor a következő réteg rábetonozása előtt be kell vízzel permetezni úgy, hogy azon vízfoltok nem állhatnak.

22.12.1.9. A beton bedolgozása, példa

A zsaluzatok közé juttatott betont haladéktalanul tűvibrátorral (merülő vibrátorral) tömöríteni kell. A merülő vibrátor 48-65 mm átmérőjű, legalább 3500 N rázóerejű, percenként legalább 9000, lehetőleg 12000 fordulatszámú (200 Hz frekvenciájú) legyen. Munkacsapatonként 3 db merülő vibrátor és 1 tartalék vibrátor álljon rendelkezésre.

A merülő vibrátor rázófejét a betonkeverékbe benyomni nem szabad, hanem engedni kell, hogy saját tömege révén merüljön be a betonba. Lehetőleg kerülni kell, hogy a vibrátort a beton terítésére használjuk. A rázófejet nem szabad egy helyben tartani, hanem azt mindig mozgatni kell, és hagyni kell, hogy az a korábban készített, de még vibrálható betonrétegbe merüljön. A bemerítési helyek hatósugara metsződjön át, tömörítetlenül beton ne maradjon. A merülő vibrátort addig kell a betonban tartani, amíg a betonból levegőbuborékok távoznak, és a felületen a cementpépréteg ki nem alakul. Utána lassan kell a vibrátort a betonból kihúzni.

Födémek esetén a mixerenkénti betonadagokat és az egymásra épülő betonrétegeket össze kell vibrálni. Erre a födémek betonozásához használt kötéskésleltetőszer 3-4 óra időt is ad. Ha a betonban a vibrátor kihúzása után lyuk marad, akkor az összevibrálhatóság lehetősége megszűnt.

A vibrátor rázófeje az acélbetéteket ne érintse.

A födémek felső rétegének tömörítése és a felületképzés lapvibrátorral végzendő.

Ha munkahézagot kell képezni, az legyen közel vízszintes, de nem sima felületet. Az ilyen felületet az esőtől, széltől, párolgástól, napsugárzástól takarással, a hozzá nem férhető helyeken a kiszáradástól időszakos gyenge vízpermetezéssel kell védeni. A munka folytatásakor a hátrahagyott felületet gyengén megnedvesítjük, de cementtejjel leönteni szigorúan tilos. Tapadóhíd képzésének szükségességére és lehetőségére egy-egy szint megépítésén belül nem gondolunk.

22.12.1.10. A bedolgozott beton nedves utókezelése, példa

Az elkészült betonszerkezeti elemeket a zsugorodási repedések elkerülésére legalább 14 napos korukig nedvesen tartással meg kell óvni a kiszáradástól. Hideg vízzel utókezelni nem szabad, a víz hőmérséklete legfeljebb 5 °C értékkel lehet kevesebb, mint az utókezelt beton felülete.

Célszerű a felületen nedves juta- vagy gyékénytakarást és fóliaborítást vagy hablemez lefedést alkalmazni. Ha a takarás vízzáró és ráfekszik a felületre, akkor a vizes utókezelést helyettesíti.

22.12.1.11. A bedolgozott beton hőmérséklete és hőmérsékletének mérése födémek esetén, példa

A födémek vastagfalú szerkezetek, amelyekben a belső hőfejlődés és a külső lehűlés egyenlőtlen hőmérséklet eloszlást hoz létre és ez kéregrepedéseket, rosszabb esetben átmenő repedéseket okozhat. Arra kell törekedni, hogy a beton belseje és külseje között a hőmérséklet különbség ne legyen több, mint 20 °C.

A hidratációs hőfejlődés mérséklésére a cement megválasztásával, mennyiségének minimalizálásával, az alacsony vízcement-tényezővel lépéseket tettünk, a kész beton felületek gyors lehűlését a fazsaluzat alkalmazásán túl a szabad felület hőszigetelő anyaggal való letakarásával akadályozhatjuk meg. Ez a takaró legyen legalább olyan hőszigetelő-képességű, mint a fazsaluzat és zárja a párát is. E hőszigetelő-párazáró takarót a bedolgozott friss beton felületére elkészülte után lehetőleg azonnal rá kell helyezni.

A beton belseje és külseje közötti hőmérséklet különbséget a kizsaluzás és kitakarás időpontja is befolyásolja. A zsaluzatot és a takarót hőtechnikai szempontból akkor szabad eltávolítani, ha beton belsejének hőmérséklete kevesebbel haladja meg a környezeti hőmérsékleti átlagot, jobb esetben a hőmérsékleti minimumot, mint 20 °C. A födémekben a beton belsejének hőmérsékletét több ponton, beépített hőmérőkkel kell mérni. A beton hőmérsékletmérését a vékonyabb, alsó (+118,0 m szint) födém esetén is el kell végezni, mert az ott szerzett tapasztalatok a vastagabb, felső (+123,0 m szint) födém építése során jól hasznosíthatók.

A beton felületén a hőmérséklet az első 72 órában 5 °C alá nem eshet. A vastag födémeket betonozni azonban +25 °C hőmérséklet feletti időben nem szabad.

22.12.1.12. Betonozási hibák javítása, példa

Az esetleges betonozási hiba helyeket, mint a fészkek, üregek, fel kell tárni, ki kell tisztítani, portalanítani kell és jól tapadó, megfelelő szemnagyságú cement+polimer kötőanyagú habarcs vagy beton bedolgozásával ki kell javítani. Előnyös, ha a javítandó üregek felülete durva.

Az esetleges repedések felmérése, javításának véleményezése külön eljárást igényel.

22.12.1.13. Kizsaluzás és a vasbeton szerkezeti elemek terhelhetősége, példa

A kizsaluzhatóság a beton szilárdulásától, födémek esetén ezen kívül a beton belsejének hőmérsékletétől is függ, de a kizsaluzás 7 napnál korábban semmi esetre sem történjen meg.

A vasbeton szerkezetet alátámasztó állványzat elbonthatóságáról a tervező statikusnak külön kell nyilatkoznia.

A vasbeton szerkezeti elemek hasznos teherrel a beton 28 napos kora után terhelhetők.

22.12.1.14. A minőség vizsgálatok rendje, példa

Minden szállítmány – legyen az betonalapanyag vagy transzportbeton – átvételének alapja a szállító megfelelőségi nyilatkozata, amely a termékre a megrendelővel kötött szerződésben rögzített követelmények teljesüléséről – esetleg a teljesülés hiányosságairól – ad számot a szállító által végzett vagy végeztetett vizsgálatok alapján. A megrendelő a beton alapanyagaira, a friss és a megszilárdult betonra végezze, vagy végeztesse el az előírt vizsgálatokat.

22.12.2. Példa egy gépalap készítésének betontechnológiai utasítására

22.12.2.1. Alaptömb betonösszetétele, példa

A betonösszetétele megtervezésének elsődleges szempontja, hogy az 1,0 m magasságot és az 5,0 m hosszat meghaladó méretek miatt az alaptömböket tömegbetonnak kell tekinteni. A tömegbeton készítése azzal a veszéllyel jár, hogy a cement kötésének kezdeti időszakában a hőfejlődés hatására a nagy méretek folytán jelentős hőmérséklet különbségek alakulhatnak ki, amelyek káros belső feszültségekhez és alakváltozásokhoz vezethetnek. A tömegbeton tervezés egyik feladata, hogy a kötés hő és a zsugorodás okozta repedésérzékenységet a lehető legkisebbre csökkentse.

A betont az alaptömbök méreteire és bedolgozhatóságára tekintettel olyan tömegbetonként tervezzük meg, amely konzisztenciáját tekintve képlékeny, vibrálható beton vagy öntömörödő beton. A képlékeny betont azokon a helyeken lehet alkalmazni, ahol a beton tűvibrátorral való tömörítése megoldható.

A képlékeny, vibrálható beton MSZ EN 12350-5 szabvány szerinti terülési mértéke (420-480) mm és jele: F3. Az öntömörödő beton esetünkben olyan folyós konzisztenciájú beton, amelynek MSZ EN 12350-8 szabvány szerinti roskadási terülési mértéke (500-650) mm és jele: SF1.

Méretezési szempontok alapján az alaptömb betonjának MSZ 4798-1 szabvány szerinti nyomószilárdsági osztálya C20/25, amelyhez az MSZ EN 1992-1-1 szabvány szerint a szabványosan tárolt 150 mm élhosszúságú próbakockákon mért 33 N/mm^2 átlagos nyomószilárdság tartozik. A betonok 24 órás nyomószilárdsága várhatóan 5 N/mm^2.

Az adalékanyag legnagyobb szemnagyságát a tömegbeton jellegre való tekintettel célszerű az acélbetétszerelés által megengedett legnagyobb méretűre választani, így az legyen D_{max} = 40 mm. Ennek következményeképpen a betonszivattyú szállítóvezetékének belső átmérője legalább 120 mm kell legyen. Az adalékanyag szemmegoszlási görbéje B határgörbe közelében, azt alulról követve fusson, finomsági modulusa 6,68. Az adalékanyagot öt frakcióból kell összeállítani, ezek: (0-1) mm, (1-4) mm, (4-8) mm, (8-16) mm, (16-40) mm.

Az alaptömbök vibrálással bedolgozott betonjának szabványos jele: C20/25 – XC4 – 40 – F3 – MSZ 4798-1, az öntömörödő beton szabványos jele: C20/25 – XC4 – 40 – SF1 – prEN 206.

A cement minősége az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerinti CEM I 32,5 SR szulfátálló portlandcement (az egykori S-54 350 pc szulfátálló portlandcement megfelelője) legyen. Bár az alaptömb nincs szulfátkorrózió veszélyének kitéve, a szulfátálló portlandcement alkalmazására azért esett mégis a választás, mert a szulfátálló portlandcement C_3A tartalma csekély, amely C_3A a klinkerásványok közül a legtöbb hőt fejleszti. Amíg a kohósalakportlandcement cement hidratációs hője 3 és 7 napos korban (240-275) J/g, addig ugyanez a szám szulfátálló portlandcement esetén (160-200) J/g. A szulfátálló portlandcement alkalmazása mellett szól az is, hogy nem zsugorodik jobban a többi cementnél.

A cement mennyisége az öntömörödő beton esetén 320 kg/m^3, a vibrált beton esetén 310 kg/m^3 legyen.

A víz-cement tényezőt, illetve a vízadagolást a cementadagolás viszonylag alacsony szinten tartásához, így a kőfejlődés és zsugorodás csökkentéséhez a szükséges folyós konzisztencia biztosítása mellett a lehető legkisebbre kell választani, aminek eszköze a hatékony folyósító adalékszer használata. A vibrálással bedolgozott beton víz-cement tényezője 0,46, az öntömörödő betoné 0,50 legyen.

Mindkét beton összetétel esetén megfelelő folyósítószert kell alkalmazni, adagolása a cementtartalom függvényében a termékismertetőt kövesse.

22.12.2.2. Alaptömbök betonozásának ütemterve, példa

A lényegében 3 m magas alaptömbök betonozását mintegy 0,5-1,0 m magas rétegekben célszerű elvégezni. Az egyes rétegek elkészítése között 20-24 órás betonozási szünettel számolunk, amelynek betartása esetén a munka másnap tagadóhíd felhordása nélkül folytatható.

Ha a betonozási szünet például zsaluzási tevékenység miatt a 36 órát eléri, akkor a meglévő betonrétegre tagadóhidat kell felhordani, ami különösképpen az egyenletesség szempontjából nagy körültekintést igénylő művelet. Erre várhatóan a ±0,0 m szint felett kerül sor.

Ennek megfelelően és az alaptömbök felsőbb szintű tagozódásával párhuzamosan csökkenő ütemű betonozással számolva a *76. táblázat* szerinti betonozási ütemtervet állítottuk össze.

Az 5. táblázat összeállítása során feltételeztük, hogy a mixer-kocsi hasznos térfogata 5 m^3, vagy 3 m^3. Ha a mixer-kocsi 2 óra alatt egy fordulót tesz, akkor a folyamatos betonozáshoz 4 darab 5 m^3-es vagy 7 darab 3 m^3-es mixer-kocsira van szükség. Terveink szerint az 5 m^3-es mixer-kocsi fordulónként félórát, a 3 m^3-es mixer-kocsi 17 percet tartózkodik az építéshelyen, amely idő alatt a megkevert kész friss betont a betonszivattyú etetőbunkerébe üríti.

A betonszivattyúnak óránként 10 m^3 friss betont kell továbbítania, miközben elegendő idő kell rendelkezésre álljon a megfelelő függőleges szállítócsőre való csatlakozáshoz, illetve a függőleges szállítócső átállásához. Egy függőleges szállítócső állásban mintegy 17 m^2 alapterület betonozása végezhető el, tehát összesen 4 db függőleges szállítócső hely kiépítésére vagy kijelölésére van szükség. Ebből 3 db arányosan elosztva a nagyobb alaptömbben, 1 db pedig a kisebb alaptömbben kell elhelyezkedjen.

Egy 5 m^3 hasznos térfogatú mixer-kocsi tartalmát 35 m^2 területen kell elosztani, azaz minden mixer-kocsi két függőleges szállítócső helyre üríti ki szállítmányát, amely eszerint átlagban mintegy 14 cm vastagságban fog elterülni.

Ha a mixer-kocsi hasznos térfogata 3 m^3, akkor teljes tartalmát egy szállítócső helyen kell kiüríteni. A 3 m^3 beton 17 m^2 alapterületen átlagban mintegy 18 cm vastagságban fog elterülni.

A folyamatos betonozás ideje alatt a már elterített betonra a következő betonréteg 1 óra múlva kerül rá.

A 4 db függőleges szállítócső-állást folyamatosan és egyenletesen kell betonnal kiszolgálni.

A függőleges szállítócső-állás nem egy adott helyet, hanem egy 17 m^2-es területet jelent, amelyen belül a szóban forgó függőleges szállítócsövet vízszintes értelemben esetleg mozgatni kell, mert az alaptömbök acélszerelése a beton vízszintes irányú folyását akadályozhatja.

A szállítócső függőleges szárának tartásához, emeléséhez, mozgatásához a két alaptömb környezetében darura van szükség, mert a betonszivattyúk vízszintes gémkinyúlása általában csak 18 m.

76. táblázat: A gépalaptömbök betonozási ütemterve

Alaptömbök betonozási ütemterve				
Munkanap száma	Betonozás ideje óra	Bedolgozott beton mennyisége, m^3	Mixer-kocsi fuvarok száma, ha a keverődob hasznos térfogata	
			5 m^3	3 m^3
1.	8 - 15	65	13	22
2.	13 - 18	50	l0	17
3.	15 - 18	30	6	10
4.	16 - 18	20	4	7
Alternatíva arra az esetre, ha zsaluzási munkák miatt a fenti 3. és 4. betonozási munkanap előtt hosszabb betonozási szünetet kell tartani				
1.	8 - 15	65	13	22
2.	13 - 18	50	l0	17
4.^{x}	12 - 15	30	6	10
6.^{x}	8 - l0	20	4	7
^{x} Megjegyzés: A betonozás előtt megfelelő időben el kell végezni a tagadóhíd felhordást.				

22.12.2.3. Alaptömbök betonozása, példa

A beton adagok megkeverésének mixer-kocsiba való töltésének időpontját úgy kell meghatározni, hogy az a szállítási távolság figyelembe vételével a megadott időben az építéshelyre érkezzen. A szállítást végző mixer-kocsikat folyamatos időütemezésben kell megtölteni.

A megtöltött mixer-kocsinak haladéktalanul az építéshelyre kell hajtania és szállítás közben a betont 2-6 fordulat/perc lassú forgással folyamatosan kevernie kell. A mixer-kocsiban szállítás közben a betonhoz vizet adni tilos.

Az építéshelyen minden mixer-kocsi alapkeverékéből mintát kell venni. Meg kell mérni a képlékeny, vibrálható beton MSZ EN 12350-5 szabvány szerinti, illetve az öntömörödő beton MSZ EN 12350-8 szabvány szerinti roskadási terülési mértékét, és készíteni kell 1 db 150 mm élhosszúságú próbakockát, amelyet szabványosan kell tárolni, majd 28 napos nyomószilárdság vizsgálatnak kell alávetni. Az alapkeverék terülési mértéke meg kell feleljen a képlékeny, vibrálható beton esetén az MSZ 4798-1 szabvány szerinti F3 konzisztencia osztálynak (terülési mérték 420-480 mm), az öntömörödő beton esetén a prEN 206 szabvány szerinti SF1 konzisztencia osztálynak (roskadási terülési mérték 500-650 mm). Ha e feltételek nem teljesülnek, akkor a betont felhasználni nem szabad, és a továbbiakra nézve intézkedni szükséges.

Ha a beton építéshelyre való leszállítása után esetleg még további folyósítószer hozzáadása szükséges, akkor a folyósítószert a mixer-kocsi keverődobjába kell önteni, és ezután a keverődobot 10-14 fordulat/perc gyorsjárattal kell járatni 5-7 percen át úgy, hogy a folyósítószer bekeverése legalább 7o dobfordulattal történjen meg. Az építéshelyen csak a felelős művezető írásbeli utasítására és annak megfelelő mennyiségben szabad a betonhoz folyósítószert adni. A pótlólagos folyósítószer adagolást az építési naplóban rögzíteni kell.

Az esetleg az építéshelyen folyósítószerrel készre kevert betonból mixer-kocsinként újból mintát kell venni, meg kell mérni a beton terülési mértékét, és készíteni kell egy 1 db 150 mm élhosszúságú betonkockát 28 napos nyomószilárdság vizsgálat céljára. A betonkockát egyértelmű jelöléssel kell ellátni. A betont akkor szabad a mixer-kocsi dobjából a betonszivattyú anyagfogadó bunkerébe üríteni, ha konzisztenciája megfelel a tervezett, előírt terülési mértéknek.

Megjegyzendő, hogy a forgódob-ürítés elején vett betonminta nem megbízható, ezért meg kell figyelni, hogy a mixer-kocsi ürítése közben a beton minősége szemmel láthatóan nem változik-e, és ha esetleg igen, akkor a mintavételnél erre tekintettel kell lenni.

A megfelelő konzisztenciájú betont betonszivattyúval továbbítjuk a beépítés helyére. A betonszivattyú vízszintes gém kinyúlása érje el a 18 m-t. A szállítóvezeték vízszintes és függőleges szakaszokból áll, függőleges szakaszt 4 helyen létesítünk. A beton szabadesését nem engedjük meg, a függőleges szakasz nyúljon a betonréteg fölé 20 cm-rel. A betonozást mindig a szivattyútól legtávolabb eső ponton kezdjük meg. A gémkinyúláshoz csatlakozó szállítóvezeték kiépítésére vonatkozó szabályokat be kell tartani. Az elbontott csőszakaszokat vízzel azonnal ki kell mosni.

Szabály, hogy a betonozás folyamatos legyen, a betonszivattyú kiürülése és az új adag betöltésének kezdete között legfeljebb félóra telhet el. A betongyári kiadást követően a betont másfélórán belül be kell dolgozni. Műszak után, és ha a szivattyúzási üzemszünet félóránál hosszabb, akkor a szállítóvezetékből a betont ki kell nyomatni, a szivattyút és a vezetéket ki kell tisztítani.

A szivattyúzás megkezdése előtt biztosítani kell a csővezeték belső felületén a betonkeverék zavartalan továbbításához szükséges kenőfilmet, ami 100 kg cementből készített tejfel sűrűségű cement + víz pépből áll. A kenőkeveréket a betonozandó szerkezetbe bedolgozni szigorúan tilos.

A szivattyú működtetésének szabályait be kell tartani.

Ügyelni kell arra, hogy betonozás közben a még szabadon álló acélszerelés lehetőleg ne kenődjön betonnal össze.

Az alaptömbök mélyebb és nem vibrálható rétegei az öntömörödő betonból, a vibrálható rétegek a képlékeny betonból készülnek.

Vibrálás során a tűvibrátor rázófeje az acélbetéteket huzamosabb ideig ne érintse. A rázófejet a betonkeverékbe benyomni nem szabad, hanem engedni kell, hogy a tűvibrátor saját tömege révén merüljön be a betonba. A rázófejet nem szabad egy helyben tartani, hanem azt mindig mozgatni kell, és az mintegy 10 cm-rel bemeríthető a mintegy 1 órával azelőtt készített alsó rétegbe. A bemerítési helyek hatósugara metsződjön át.

A műszak végén közel vízszintes, de nem sima felületet kell hátrahagyni, amit munkahézagként fogunk fel. Ahol a sűrű vasalás nem teszi lehetővé a tagadóhíd alkalmazását, ott ezt a felületet érintetlenül hagyjuk, a következő műszak elején gyengén megnedvesítjük, de cementtejjel leönteni szigorúan tilos. Ahol a körülmények megengedik, ott az új műszakot megelőzően tagadóhidat alkalmazzuk.

Az elkészült betonszerkezeteket a kiszáradástól és a gyors lehűléstől 7 napos vagy ahol lehet 14 napos korukig meg kell óvni. Hideg vízzel utókezelni nem szabad. Célszerű +25 °C hőmérsékletű nedves juta- vagy gyékénytakarást és fóliaborítást vagy hablemez lefedést alkalmazni. Ügyelni kell arra, hogy a csarnokban ne legyen huzat, és a hőmérséklet lehetőleg ne essen 15 °C alá.

22.12.3. Példa egy monolit vasbeton vázszerkezetű, hatszintes épület téli betonozásának betontechnológiai utasítására

22.12.3.1. Betontechnológiai feltételek, példa

Az épület pince + földszint + 3 szint + tetőrész szintekből áll. Egy szint területe 3600 m^2, betonozásához 1000 m^3 betonra van szükség. Egy szint három dilatációs szakaszból áll, egy dilatációs szakaszt 318 m^3 betonnal lehet megépíteni. Egy nap alatt mintegy 318 m^3 beton bedolgozásával számolva egy szint betonozása 3-4 nap alatt készül el.

A kivitelező két betonozó munkacsoportja 7 munkaórás 2 műszakban dolgozik, ezért a betonozás szempontjából napi $2 \cdot 14 = 28$ munkaórával lehet számolni. Ha a betont 12 db mixer-kocsi szállítja, akkor az építéshelyre óránként 12 db mixer-kocsi érkezhet. Az építéshelyen 2 db betonszivattyú van, egyik az egyik, másik a másik betonozó munkacsoportot szolgálja ki.

A mixer-kocsik térfogata 4 m^3 transzportbeton.

A két betonozó munkacsoport két külön-külön betongyárból származó transzportbetonnal dolgozik. A betongyárak az építéshelytől 5 km-re fekszenek.

A betonozás ütemét a rendelkezésre álló zsaluzóanyag mennyisége határozza meg. Egyszerre gyakorlatilag egy dilatációs hézagköz fele van bezsaluzva, ez tesz ki egy fogást, amely betonozó munkacsoportonként 540 m^2.

A zsaluforduló jelenleg 16 nap, ebből zsaluzat építés 7 nap, betonozás 1 nap, betonszilárdulás 5 nap, zsaluzat bontás 3 nap.

A betontechnológiai feltételek a következők:

- A cementsilók nem hőszigeteltek, beboltozódása sűrített levegővel megszüntethető, a cementszállító csigák jó állapotban vannak. A cement csapadék elleni védelme a silókban megoldott.
- A betongyárak általában a fedetlen csillagdepóniában elhelyezett adalékanyag frakciókból dolgoznak (például 0/4 mm és 4/16 mm). A csillagdepók nem fűthetők, ezért a frakciókból csak fagymentes időben lehet betont keverni.
- A betongyárak fűthető adalékanyag silóval rendelkeznek. Téli időben ezt használják úgy, hogy 0/24 mm szemnagyságú, folyamatos szemmegoszlású homokos kaviccsal töltik fel. Az adalékanyag silók térfogata 60 m^3, csővezeték segítségével melegíthető. Az adalékanyag silók felett zárt védőtető van, a silókba a csapadékvíz bejutni nem tud.
- Minthogy a betonozásához napi 60 m^3 adalékanyagnál többre van szükség, ezért a 60 m^3-en feletti mennyiségű adalékanyagot depóniában fóliasátor és hőlégfúvó segítségével fogják melegíteni. A fóliasátor az adalékanyagot megvédi a csapadékvíztől.
- A téli betonozáshoz külön homokos kavics depóniát képeznek, és annak minőségét a minőségellenőrzési csoport ellenőrzi.
- A keverővizet a bemérőedényben gőzpisztollyal fogják melegíteni. A talajban a vízvezetékrendszert hőszigetelés védi a fagytól.
- Az alkalmazott beton jele: C25/30 – XC4 – l6 – F2 – MSZ 4798-1:2004.
- A beton 28 napos nyomószilárdságának vizsgálatára legalább 5 darab MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti 150 mm élhosszúságú próbakockát kell készíteni, és 1 napos kortól a vizsgálat idejéig víz alatt kell tárolni. A nyomószilárdság vizsgálatot az MSZ EN 12390-3:2009 szabvány szerint kell végezni. A beton nyomószilárdsága 28 napos korban legalább 38 N/mm^2 legyen.

– A keverővíz mennyiségét az adalékanyag nedvességtartalmának függvényében a reggeli műszak-kezdéskor és változások esetén határozzák meg.
– A keverőberendezések és a szállítójárművek hőszigetelése nem megoldható. Ezt a megkevert beton átadáskori legalább 6-18 °C közötti hőmérsékletével kell ellensúlyozni.
– Az építéshelyen a beton belső szállítását betonszivattyúval vagy kisebb mennyiségek esetén betonkonténerrel lehet megoldani.

22.12.3.2. Hidegfokozatok, példa

Hideg időben és fagy hatására a hőmérséklet csökkenésével a cementkő és általa a beton szilárdulása lelassul és mintegy -10 °C alatt megszűnik. A szilárdulási folyamat lelassulása, vagy a szilárdság csökkenése hőmérsékletfüggő következmény, amely elleni védő intézkedéseket a hőmérséklet függvényében kell meghatározni. A szükséges intézkedések tekintetében hőmérséklet határokat lehet kijelölni, amelyek célszerűen a *77. táblázat* szerintiek. A téli betonozás feltételeit e hidegfokozatok függvényében lehet meghatározni.

77. táblázat: Hidegfokozatok, példa

Hideg fokozat	Levegő hőmérséklete, °C	
	Felső határérték	Alsó határérték
I.	+10	+ 5
II.	+ 5	0
III.	0	- 5
IV.	- 5	-10
V.	-10	-15

22.12.3.3. A beton hőmérséklete, példa

Figyelembe véve a transzportbeton 5 km-es szállítási távolságát, továbbá, hogy a beton hőmérsékletét +30 °C fölé emelni nem szabad, a megkevert friss beton hőmérséklete a betongyárban, illetve a friss beton hőmérséklete bedolgozáskor az építéshelyen a *78. táblázat* szerinti legyen.

78. táblázat: Beton tervezett hőmérséklete, példa

Hideg fokozat	Friss beton hőmérséklete, °C	
	Megkeveréskor	Betonozáskor
I.	≥ +6	≥ +6
II.	≥ +12	≥ +9
III.	≥ +18	≥ +12
IV.	≥ +24	≥ +15
V.	< +30	≥ +18

A bedolgozott beton hőmérsékletét +5 °C felett kell tartani mindaddig, amíg nyomószilárdsága az 5 N/mm^2 értéket el nem éri. Ezt a hőmérsékletet az I.-III. hidegfokozat esetén általában hőszigetelő takarással, a IV.-V. hidegfokozat esetén fűtéssel lehet biztosítani. A kötésgyorsító adalékszer használata az 5 N/mm^2 nyomószilárdság eléréséhez szükséges időt lerövidíti, esetenként a hőszigetelő takarást és a fűtést feleslegessé teheti. E feltételezés igazolására laboratóriumi kísérletet kell végezni.

A friss beton keveréskor megkövetelt hőmérsékletét az adalékanyag és a keverővíz hőmérsékletének beállításával lehet biztosítani. Legegyszerűbb a vizet melegíteni és ennek szükséges mértékét az adalékanyag hőmérséklete függvényében megadni. A víz melegítésének

is van ésszerű határa, ezért ha a levegő hőmérséklete nagyon alacsony, akkor az adalékanyag melegítése sem kerülhető el.

A keverővíz hőmérséklete a friss beton keveréskori hőmérsékletének és az összetevők hőmérsékletének függvényében a következő összefüggéssel számítható ki:

$$t_V = \frac{t_{friss} \cdot (m_C \cdot c_C + m_A \cdot c_A + m_V \cdot c_V) - t_C \cdot m_C \cdot c_C - t_A \cdot m_A \cdot c_A}{m_V \cdot c_V}$$

ahol:

t_{friss}	a friss beton hőmérséklete megkeveréskor, °C
t_{V}, t_{C}, t_{A}	a keverővíz, a cement, az adalékanyag hőmérséklete, °C
m_{V}, m_{C}, m_{A}	a keverővíz, a cement, az adalékanyag tömege, kg/m^3
c_{V}	a keverővíz fajhője = 0,2388 kJ/kg·K
c_{C}	a cement fajhője = 0,0478 kJ/kg·K
c_{A}	az adalékanyag fajhője = 0,0478 kJ/kg·K

Az adalékanyag és a keverővíz hőmérsékletének összefüggő értékpárját a levegő hőmérséklete függvényében kell kiválasztani. A keverővíz hőmérséklete nagyobb legyen az adalékanyag hőmérsékleténél, de a keverővíz hőmérséklete lehetőleg ne lépje túl a 65 °C hőmérsékletet, mert ellenkező esetben a keverővizet az adalékanyaggal előre össze kell keverni, mielőtt a cementtel érintkezésbe kerülne.

22.12.3.4. A beton fagyvédelme, példa

A DIN 1045-3:2008 német szabvány 8.3 fejezete azt írja elő, hogy

– a friss beton hőmérséklete 30 °C-nál ne legyen nagyobb;
– ha a beton cement-tartalma legalább 240 kg/m^3 és a levegő hőmérséklete (+5) – (-3) °C között van, akkor a beton hőmérséklete bedolgozáskor ne legyen kisebb, mint +5 °C. Ha a cement-tartalom kevesebb, mint 240 kg/m^3, akkor a beton hőmérséklete bedolgozáskor +10 °C-nál ne legyen kisebb;
– ha a levegő hőmérséklete kisebb, mint (-3) °C, akkor a beton hőmérséklete bedolgozáskor érje el a +10 °C hőmérsékletet. A betont 3 napos koráig kell +10 °C hőmérsékleten tartani.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány L6.1. fejezete szerint a betont addig kell védeni a fagytól, amíg nyomószilárdsága a 10 N/mm^2 értéket, de véleményünk szerint legalább az 5 N/mm^2 értéket el nem éri.

A beton kezdőszilárdságának fokozására az alkalmazandó cement minősége MSZ EN 197-1:2000 szabvány szerinti CEM I 42,5 R portlandcement.

Olyan munkanapon, amikor fennáll a veszélye annak, hogy a beton az első 24 órában megfagy, nem szabad betonozni, mert az építéshely az alacsony hőmérséklet ellen nem tud hatásosan védekezni. A födémet a zsaluzat tagoltsága miatt alulról sem lehet szigetelni.

A pillérek és oszlopok hőszigetelését a beton 14 napos koráig 50 mm vastag üveggyapot paplannal kell megoldani.

A bedolgozott frissbeton hőmérsékletét folyamatosan mérni kell.

22.12.3.5. A beton utókezelése, példa

A hideg időre és a fagyveszélyre tekintettel a betont hideg vízzel nem szabad utókezelni.

A cement hidratációjának zavartalanságához meg kell akadályozni a beton idő előtti kiszáradását és ezért – vizes utókezelés helyett – a bedolgozott friss beton felületét utókezelőszerrel kell bevonni. A kialakuló vékony párazáró film a beton repedésérzékenységét is lecsökkenti.

Az utókezelőszert a beton bedolgozása után általában 2-3 órával kell vékony rétegben a felületre felhordani. A felhordást célszerű festékszóróval vagy permetező készülékkel végezni. A fúvóka szokásos átmérője 0,5-l,0 mm. A szórást alacsony nyomással, egyenletesen kell végezni. A párazáró film kb. 5 óra alatt szárad meg, eddig az időig a betonra lépni tilos.

A munkaeszközök petróleummal vagy benzinnel tisztíthatók.

Az utókezelőszer tűz- és robbanásveszélyes anyag, ezért felhordása közben nyílt láng használata és a dohányzás tilos. A bőrt kiszárítja, ezért védőkesztyűben kell vele dolgozni. Ha a bőrrel mégis érintkezik, akkor bő vízzel le kell mosni és a bőrt hidratáló bőrápoló krémmel be kell kenni. A szer gőzeinek hosszan tartó belégzése a szerves oldószer tartalom miatt káros, ezért a munkások félóránként váltsák egymást és viseljenek arcmaszkot, amely orrukat és szemüket is védi.

Az utókezelőszert fedett helyen, de sugárzó hőtől távol kell tárolni.

Esetünkben az utókezelőszer a födém felső felületén marad, de ez nem zavaró, mert egyrészt nincs olyan födémre hordandó egyéb réteg, amelynek tapadását gátolná, másrészt a megszilárdult födém beton az alsó zsaluzat eltávolítása után ki tud száradni.

Ha a párazáráson kívül a födém fagyvédelmét is biztosítani kell, és az ebben szerepet játszó hőszigetelés párazáró módon helyezhető el a födémen, akkor az utókezelőszer felhordása a hőszigetelő réteg gyorsabb elhelyezése érdekében elhagyható.

22.12.3.6. A vasbetonszerkezet kizsaluzása, példa

A zsaluzatot a beton 4-5 napos korában bontják le. A födém fesztávolsága 6 m, alátámasztva 60 cm-enként van. A zsalubontást követően a födém középen még alátámasztva marad.

A C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton várható nyomószilárdsága 150 mm élhosszúságú próbakockán mérve, +22 °C hőmérsékleten, 5 napos korban mintegy legalább 20-22 N/mm^2.

Téli időszakban a 20-22 N/mm^2 nyomószilárdságot akkor képes a beton 7-9 napos korában elérni, ha a betont csak a 3 napon éri erős fagy. Ebből, valamint abból, hogy a kizsaluzási időbe a fagyos napokat nem szabad beszámítani, felállítható a *79. táblázat*, amely a kizsaluzás időpontját annak függvényében adja meg, hogy a beton hányadik napon került fagyhatás alá.

79. táblázat: A vasbetonszerkezet kizsaluzhatósága a fagyhatás belépése napjának függvényében, példa

A beton kora, amikor fagyhatás éri	A kizsaluzás legkorábbi napja
A beton kora, nap	
2	9
3	8
4	7
5	6
Nem éri fagyhatás	5

Emlékeztetünk arra, hogy 1 napos korban nem engedhetjük meg a beton lehűlését +5 °C hőmérséklet alá, így a betont 1 napos korban fagyhatás sem érheti.

A kizsaluzáshoz szükséges nyomószilárdság a 28 napos átlag szilárdság kétharmadaként adható meg, amely 25 N/mm^2.

A beton kizsaluzáskori 25 N/mm^2 megkövetelt nyomószilárdságát fagymentes beton felületen N-jelű Schmidt kalapáccsal roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálattal lehet ellenőrizni.

22.13. KISÉPÍTKEZÉSEK BETONJAINAK ÖSSZETÉTELE

A kisépítkezések esetén az MSZ EN 206-1:2002, illetve MSZ 4798-1:2004 szabványban „előírt szabványos betonnak” nevezett betont lehet beépíteni. Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint az előírt szabványos beton nyomószilárdsági osztálya legfeljebb C16/20 (lásd könyvünk *7. fejezetét*, *13. és 14. táblázatát*), környezeti osztálya X0 és XC1 (lásd könyvünk *8. fejezetét, 17. táblázatát*).

Az „előírt szabványos betonok” *összetételét* – hasonlóan a többi betonhoz – sem az MSZ EN 206-1:2002, sem az MSZ 4798-1:2004 szabvány nem adja meg. Az irodalomban (például MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás „A beton” című, 4. fejezetében, *Buday* 2002-ben írt receptkönyvében, a *VÖZ* „Zement und Beton, 1991” zsebkönyvben, *Weber* 2010-ben kiadott tanácsadó könyvében) található betonösszetételeket (betonrecepteket) a betontechnológus, illetve az alkalmazó saját felelősségére, kellő körültekintéssel alkalmazhatja. Tekintettel arra, hogy az „előírt szabványos betonok” alkalmazásával kapcsolatos felelősség – a rendelés szerinti összetétel betartásán kívül – senkire át nem hárítható, helyesebb, ha a félreérthető megnevezés helyett a „kisépítkezések betonjáról” beszélünk.

Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 9.5. szakasza szerint az ilyen beton esetén nem kell szabványos kezdeti vizsgálatot végezni, de próbakeverésről, például a friss beton konzisztenciájának beállításához, semmi körülmények között sem szabad lemondani. Bár eszerint a „kisépítkezések betonját” ún. kezdeti vizsgálattal nem kell ellenőrizni, a beton megfelelőségéről próbakeveréssel mindenképpen ajánlatos meggyőződni. A „kisépítkezések betonjának” átlagos nyomószilárdságából ($f_{cm,test}$) a nyomószilárdság tapasztalati jellemző értékét ($f_{ck,test}$) az $f_{ck,test} = f_{cm,test} - 12$ [N/mm^2] összefüggéssel kell meghatározni, és a tapasztalati jellemző érték ($f_{ck,test}$) nem lehet kisebb, mint a tervezett (f_{ck}) jellemző érték: $f_{ck,test} \geq f_{ck}$.

A „kisépítkezések betonját” a nyomószilárdsági osztállyal, a környezeti osztállyal, az adalékanyag legnagyobb szemnagyságával, a beton konzisztenciájával, esetleg a szilárdulási folyamat sebességével, és a környezet tartós nedvességi viszonyaival (például száraz, nedves) kell jellemezni (DIN 1045-2:2008).

A DIN 1045-2:2008 szabvány szerint a „kisépítkezések betonja” (a német szabványban „Standardbeton” a neve) az XC2 környezeti osztályba is tartozhat, és nem tartalmaz sem betonadalékszert, sem kiegészítőanyagot.

Az adalékanyag szemmegoszlására – a D_{max} legnagyobb szemnagyságon kívül – nincs követelmény, a kisépítkezések C8/10 és C12/15 nyomószilárdsági osztályú betonját osztályozatlan homokos kavics adalékanyag felhasználásával is szabad készíteni. „Az adalékanyagban a homok (4 mm alatti szemek) és a kavics (4 mm feletti szemek) aránya közel azonos (50:50 tömeg%) legyen. Még megfelelő az adalékanyag, amelynek a homoktartalma legalább 40 tömeg% és legfeljebb 65 tömeg. Nem megfelelő homok:kavics arány esetén az adalékanyagot rostáljuk szét homokra és kavicsra, majd azokat fele-fele tömegarányban adagoljuk a betonkeverékbe. A megfelelő szemmegoszlású adalékanyagot előállíthatjuk vásárolt osztályozott homok és kavics frakciókból is.” (*Buday* 2002)

Az osztályozott homok és kavics frakciók (lásd könyvünk *19.1.1. fejezetét*) általában mosott termékek, és ezért alkalmazásuk az adalékanyag tisztasága szempontjából is előnyös.

A „kisépítkezések betonjának” keverővíz-tartalma betömörített beton m^3-enként földnedves beton esetén legfeljebb +2 literrel, képlékeny beton esetén legfeljebb +3 literrel lépheti túl a *82.-84. táblázatbeli* értéket.

A „kisépítkezések betonjának” legkisebb cementtartalma a német DIN 1045-2:2008 szabvány szerint a *80. táblázat* szerinti kell legyen. Ettől eltér az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szerinti szabályozás, amelyet a *81. táblázatban* tüntettünk fel. Az alkalmazó a *81. táblázatot* is csak saját felelősségére használhatja. Az X0, XC1, XC2 környezeti osztályban felhasználható cementfajtákról könyvünk *47. táblázata* ad tájékoztatást.

80. táblázat: A „kisépítkezések betonjának” legkisebb, előírt cementtartalma a DIN 1045-2:2008 szabvány F.5 táblázata szerint

Beton nyomó-szilárdsági osztálya	Legkisebb cementtartalom kg/(betömörített beton m^3) mértékegységben, ha a beton konzisztenciája (az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti jelöléssel)		
	földnedves (steif) tömörítési osztálya: C1 tömörítési mértéke: ≥ 1,26	kissé képlékeny (plastisch) terülési osztálya: F2 terülése: 350-410 mm	képlékeny (weich) terülési osztálya: F3 terülése: 420-480 mm
C8/10	210	230	260
C12/15	270	300	330
C16/20	290	320	360

Megjegyzések:
- A táblázat CEM 32,5 fajtájú cement és 32 mm legnagyobb szemnagyság esetén érvényes.
- A táblázat szerinti legkisebb cementtartalmat 16 mm legnagyobb szemnagyság esetén 10 %-kal, 8 mm legnagyobb szemnagyság esetén 20 %-kal meg kell növelni.
- A táblázat szerinti legkisebb cementtartalmat CEM 42,5 fajtájú cement esetén 10 %-kal, és 63 mm legnagyobb szemnagyság esetén ugyancsak 10 %-kal szabad csökkenteni.
- A táblázatot az alkalmazó csak saját felelősségére használhatja.

81. táblázat: A „kisépítkezések betonjának” nyomószilárdsági osztálya, környezeti osztálya és a cementpép összetétele az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 11 táblázata szerint

Beton nyomószilárdsági osztálya	Beton környezeti osztálya	Keverővíz adagolás 100 kg cementhez liter	Cement fajtája
C12/15	X0	58	CEM 32,5
C16/20	X0	52	CEM 32,5
C20/25	XC1	46	CEM 32,5
C20/25	XC2	45	CEM 32,5
C25/30	XC1	48	CEM 42,5

Megjegyzések:
- A „kisépítkezések betonja” (az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány „Rezeptbeton” = „Standardbeton”-nak nevezi), azaz e táblázat adatai egyebek mellett akkor alkalmazhatók, ha a beton tételnagysága legfeljebb 50 m^3.
- A „kisépítkezések betonja” adalékszer és kiegészítőanyag nélkül készül.
- A keverővizet és a cementet kalibrált eszközökkel kell kimérni.

A *81. táblázat* szerinti arányú cement+keverővíz összetétellel kell egy cementpépet, és ehhez az adalékanyag adagolásnak mintegy a felével egy nagyon híg betonkeveréket készíteni. Ezt követően az adalékanyag egyre nagyobb mennyiségének fokozatos bekeverésével kell a kívánt konzisztenciát beállítani. Ezután az egyenletes betonkeverék elkészítéséhez a keverést legalább 3 percig kell folytatni. A betont 10 percnél tovább semmi esetre sem szabad keverni, mert a keverék bedolgozhatatlanná válik. Ha a keverés végén a keverék nem elég képlékeny, akkor vizet nem szabad a keverékhez adni, mert a beton nyomószilárdsága a többletvíz adagolással lecsökken, hanem ilyenkor a keveréket el kell dobni, és kevesebb adalékanyaggal újat kell keverni. Ha az adalékanyag a légszáraznál nedvesebb, mert például megázott, akkor 100 kg cementhez a táblázat szerintinél kevesebb keverővizet kell adni.

Weber (2010) a „kisépítkezések betonjának” összetételére táblázatos javaslatot tett, amelyet a *82.-84. táblázatban* mutatunk be. Hangsúlyozzuk, hogy az alkalmazó ezeket a táblázatokat is kizárólag saját felelősségére használhatja. A „kisépítkezések betonjának” tulajdonságait e táblázatok szerinti betonösszetételeken kívül a betonépítés (kivitelezés) módszerei is erősen befolyásolják. A *Weber*-féle táblázatok szerinti betonösszetételeket annak feltételezésével határozták meg, hogy a cement anyagsűrűsége 3,0 kg/liter, az adalékanyag felületi nedvesség-tartalma 4,5 tömeg%, az adalékanyag testsűrűsége 2,6 kg/liter, a betömörített friss beton levegő-tartalma 2,0 térfogat%.

Weber (2010) megadta az egy keveréshez a betonkeverőgép dobjába bemérendő betonösszetevők számításmódját is. Ennek megértéséhez értelmeznünk a betonkeverőgép dobjára vonatkozó fogalmakat (lásd könyvünk 22.3. fejezetét is), amelyek a következők:

– Névleges dobtérfogat (Nenninhalt). A névleges dobtérfogat az egy keveréssel megkeverhető földnedves konzisztenciájú friss beton m^3-ben kifejezett térfogata betömörített állapotban; tehát a szilárd betonnak a térfogata, amely az egyszerre megkeverhető friss betonból készül. A névleges dobtérfogat 1,45 *Walz*-féle tömörítési mértékű földnedves betonra vonatkozik, amely tömörítési mérték – mint könyvünk *21. táblázatában* és *12. ábráján* látható – az MSZ 4798.1:2004 szabvány szerinti C0 és C1 tömörítési osztály határértéke (DIN 459-1:1995).

– Hasznos dobtérfogat (Nutzinhalt). A hasznos dobtérfogat a névleges dobtérfogat és a beton konzisztenciájának a függvénye, és azt fejezi ki, hogy az adott névleges dobtérfogatú betonkeverőgéppel az egyszerre megkeverhető, adott konzisztenciájú friss betonból hány m^3 megszilárdult beton lesz. Földnedves konzisztencia esetén a hasznos dobtérfogat egyenlő a névleges dobtérfogattal, kissé képlékeny beton esetén a hasznos térfogat a névleges dobtérfogat 1,2-szerese, képlékeny beton esetén az 1,35-szorosa (*Weber* 2010). Lásd a *85. táblázat* utolsó oszlopát is.

  Ha például a keverőgép dobjának betonnal megtölthető térfogata (befogadóképessége) 1,45 m^3, akkor az ezzel a teljesen megtöltött keverőgéppel egyszerre megkeverhető

  – földnedves konzisztenciájú betonból 1,0 m^3 megszilárdult beton lesz, mert a földnedves beton MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti tömörítési mértéke 1,45, és 1,45/1,45 = 1,0;
  – kissé képlékeny konzisztenciájú betonból 1,2 m^3 megszilárdult beton lesz, mert a kissé képlékeny beton MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti tömörítési mértéke 1,21, és 1,45/1,21 = 1,2. Ha a lazán 1,21 m^3 térfogatú beton térfogata betömörítve 1,0 m^3, akkor a lazán 1,45 m^3 térfogatú beton térfogata betömörítve 1,0·1,45/1,21 = 1,2 m^3;
  – képlékeny konzisztenciájú betonból 1,35 m^3 megszilárdult beton lesz, mert a kissé képlékeny beton MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti tömörítési mértéke 1,07, és 1,45/1,1,07 = 1,35. Ha a lazán 1,07 m^3 térfogatú beton

térfogata betömörítve 1,0 m³, akkor a lazán 1,45 m³ térfogatú beton térfogata betömörítve 1,0·1,45/1,07 = 1,35 m³. Lásd a *85. táblázat* utolsó oszlopát is.

Ha a C8/10 nyomószilárdsági osztályú, kissé képlékeny betonnal teljesen megtöltött 1,45 m³ befogadóképességű (1,0 m³ névleges térfogatú) keverődobbal egyszerre megkevert friss betonból 1,2 m³ megszilárdult beton lesz, akkor ebbe a betonkeverőgépbe az 1,0 m³ betömörített beton összetevőinek 1,2-szeresét kell betölteni. Például, ha a kissé képlékeny betont 32,5 szilárdsági osztályú cementtel és D_{max} = 32 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyaggal készítjük, akkor cementből 1,2·230 = 276 kg-ot, keverővízből 1,2·107 = 128 litert, a nedves adalékanyagból 1,2·1937 = 2324 kg-ot, összesen 2728 kg friss betont kell bemérni (lásd a *82. és a 85. táblázat* vonatkozó értékeit). Ha a keverődob névleges térfogata nem 1,0 m³, hanem például ennek a fele, azaz 0,5 m³, akkor a bemérendő anyag tömegének kiszámítása során az 1,0 m³ betömörített beton összetevőinek tömegét nem 1,2-del, hanem 0,6-del kell megszorozni stb. (*85. táblázat*). Ezek a *85. táblázatban* szereplő szorzók a hasznos dobtérfogatok.

Összefoglalva: Valamely névleges térfogatú keverődobbal rendelkező betonkeverőgéppel egyszerre megkeverhető, adott cement fajtával készített, adott legnagyobb szemnagyságú és adott konzisztenciájú beton összetevőinek bemérendő tömegét megkapjuk, ha az 1,0 m³ betömörített beton összetevőinek tömegét (*82.-84. táblázat*) a *85. táblázat* szerinti, vonatkozó hasznos dobtérfogattal megszorozzuk.

82. táblázat: A „kisépítkezések” C8/10 nyomószilárdsági osztályú, 1,0 m³ térfogatú, betömörített, „vasalás” nélküli friss betonjának összetétele *Weber* (2010) szerint

Cement szilárdsági osztálya	Adalékanyag legnagyobb szemnagysága mm	Konzisztencia megnevezése a *80. táblázat* szerint	Cement-tartalom kg	Keverővíz tartalom liter	Nedves adalékanyag tartalom kg
32,5	16	földnedves	231	107	1937
		kissé képlékeny	253	130	1864
		képlékeny	286	153	1780
	32	földnedves	210	83	2011
		kissé képlékeny	230	107	1937
		képlékeny	260	130	1856
42,5	16	földnedves	210	106	1956
		kissé képlékeny	230	129	1883
		képlékeny	260	152	1802
	32	földnedves	189	83	2029
		kissé képlékeny	207	106	1959
		képlékeny	234	129	1880

A „kisépítkezések betonjának” tulajdonságait is célszerű próbakeveréssel ellenőrizni. A *Weber*-féle táblázatok értékeit 4,5 tömeg% felületi nedvesség-tartalmú adalékanyag feltételezésével számították ki, így előfordulhat, hogy az alkalmazott adalékanyag nedvesség-tartalma ennél például kevesebb, és ezért a friss beton konzisztenciája a vártnál kevésbé képlékeny. Ökölszabály, hogy beton m³-enként 2,0 liter keverővíz hozzáadásával a beton terülési mértéke (*19. táblázat*, *10. ábra*) mintegy 10 mm-rel növekszik. Ha például a terülési mérték 450 mm helyett csak 410 mm, akkor a *Weber*-féle táblázatból vett keverővíz tartalmat (adagolást) 4·2 = 8 literrel meg kell növelni. A többi összetevő mennyiségét változatlanul kell hagyni. Ha a konzisztencia túl képlékeny, akkor ugyanezen ökölszabály alapján lehet a beton víztartalmát csökkenteni. Ezt a konzisztencia-javítási módszert csak a kisépítkezések betonozási munkái során szabad alkalmazni (*Weber* 2010).

A *VÖZ* „Zement und Beton” zsebkönyv (1991) 18. műszaki irányelve (Merkblatt 18.) szerint célszerű, ha a kisépítkezéseken képlékeny konzisztenciájú friss betonnal dolgoznak, mert a képlékeny beton kézi szerszámmal is könnyen bedolgozható, betömöríthető. A kissé képlékeny, különösen a földnedves beton tömörítéséhez gépi eszközt kell használni. Vasbetont gépi tömörítés nélkül nem szabad készíteni, mert a beton fészkes lesz, és az acélbetét nagy valószínűséggel korrodálni fog. A folyós beton könnyen szétosztályozódik, ezért ilyent nem szabad keverni.

83. táblázat: A „kisépítkezések” C12/16 nyomószilárdsági osztályú, 1,0 m^3 térfogatú, betömörített, „vasalás” nélküli friss betonjának összetétele *Weber* (2010) szerint

Cement szilárdsági osztálya	Adalékanyag legnagyobb szemnagysága mm	Konzisztencia megnevezése a *80. táblázat* szerint	Cement-tartalom kg	Keverővíz tartalom liter	Nedves adalékanyag tartalom kg
32,5	16	földnedves	297	109	1878
		kissé képlékeny	330	133	1793
		képlékeny	363	156	1709
	32	földnedves	270	86	1956
		kissé képlékeny	300	109	1875
		képlékeny	330	133	1793
42,5	16	földnedves	270	108	1902
		kissé képlékeny	300	132	1820
		képlékeny	330	155	1739
	32	földnedves	243	85	1980
		kissé képlékeny	270	108	1902
		képlékeny	297	131	1824

84. táblázat: A „kisépítkezések” C16/20 nyomószilárdsági osztályú, 1,0 m^3 térfogatú, betömörített, „vasalás” nélküli és vasbetonhoz felhasználható friss betonjának összetétele *Weber* (2010) szerint. Megjegyezzük, hogy az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint „normál építkezések” esetén C20/25 nyomószilárdsági osztályúnál gyengébb betonból vasbetont készíteni nem szabad (*17. táblázat*).

Cement szilárdsági osztálya	Adalékanyag legnagyobb szemnagysága mm	Konzisztencia megnevezése a *80. táblázat* szerint	Cement-tartalom kg	Keverővíz tartalom liter	Nedves adalékanyag tartalom kg
32,5	16	földnedves	319	110	1878
		kissé képlékeny	352	134	1774
		képlékeny	396	158	1679
	32	földnedves	290	87	1937
		kissé képlékeny	320	110	1856
		képlékeny	360	134	1766
42,5	16	földnedves	290	109	1883
		kissé képlékeny	320	132	1802
		képlékeny	360	156	1712
	32	földnedves	261	85	1965
		kissé képlékeny	288	109	1885
		képlékeny	324	133	1798

85. táblázat: Betonkeverőgépek hasznos dobtérfogata *Weber* (2010) szerint

Névleges dobtérfogat a DIN 459-1:1995 szabvány szerint , m^3	0,15	0,25	0,33	0,50	0,75	1,00
Beton konzisztenciája	Hasznos dobtérfogat, m^3					
Földnedves	0,15	0,25	0,33	0,50	0,75	1,00
Kissé képlékeny	0,18	0,30	0,40	0,60	0,90	1,20
Képlékeny	0,20	0,34	0,45	0,67	1,01	1,35

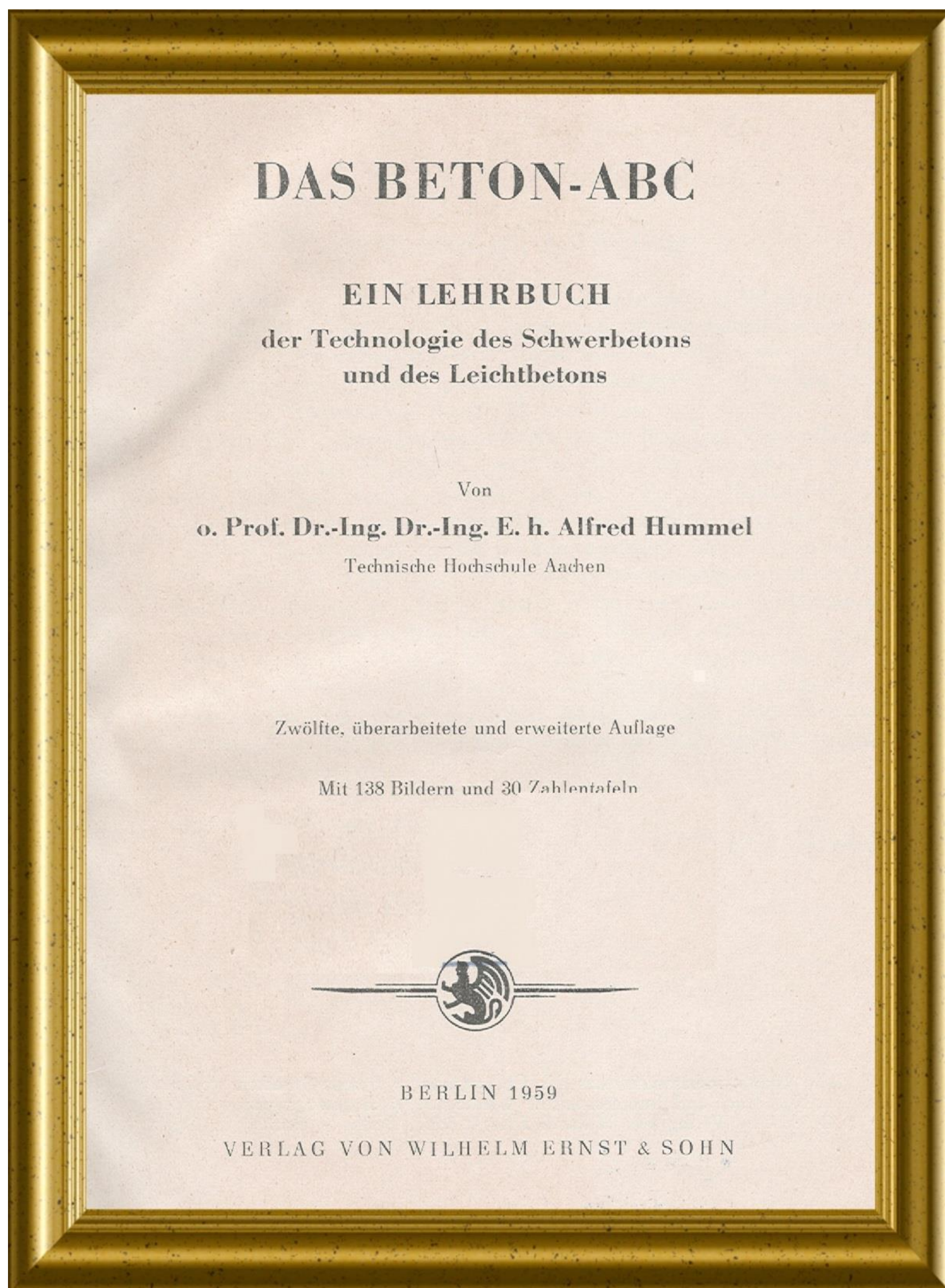
A megkevert friss betont egy órán belül, nyári nagy melegben fél órán belül be kell dolgozni (*VÖZ* 1991).

A betömörített friss betont legalább három napon át óvni kell a kiszáradástól. Ennek módozatai a következők lehetnek:

– a bedolgozott friss beton felületét a bedolgozást követően műanyag fóliával azonnal le kell takarni;
– a bedolgozott friss beton felületét utókezelőszerrel egyenletesen be kell permetezni. A felhordott utókezelőszer a felületről ne folyjék le, a vízszintes felületen tócsában ne álljon meg;
– a bedolgozott friss beton felületét vízzel kell utókezelni (például kerti permetezővel, locsolótömlővel). A vizes utókezelést meleg időben megszakítás nélkül kell végezni, mert különben repedések keletkezhetnek. Vízzel való permetezés vagy locsolás során ügyelni kell arra, hogy a beton felületéről a finom szemeket ne mossuk ki.

Ha az oldalzsaluzatot csak három nap múlva távolítják el, akkor a függőleges felületet nem kell utókezelni.

Vasbeton esetén az acélbetéteket a statikai terv szerinti helyre kell beépíteni, és legalább méterenként távtartókkal rögzíteni. A betonfedés szükséges mértékét is a tervezőmérnök írja elő. A konzollemezek felső vasalásának elhelyezését különös gondossággal kell végezni.


DAS BETON-ABC

EIN LEHRBUCH
der Technologie des Schwerbetons
und des Leichtbetons

Von
o. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Alfred Hummel
Technische Hochschule Aachen

Zwölfte, überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 138 Bildern und 30 Zahlentafeln

BERLIN 1959

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

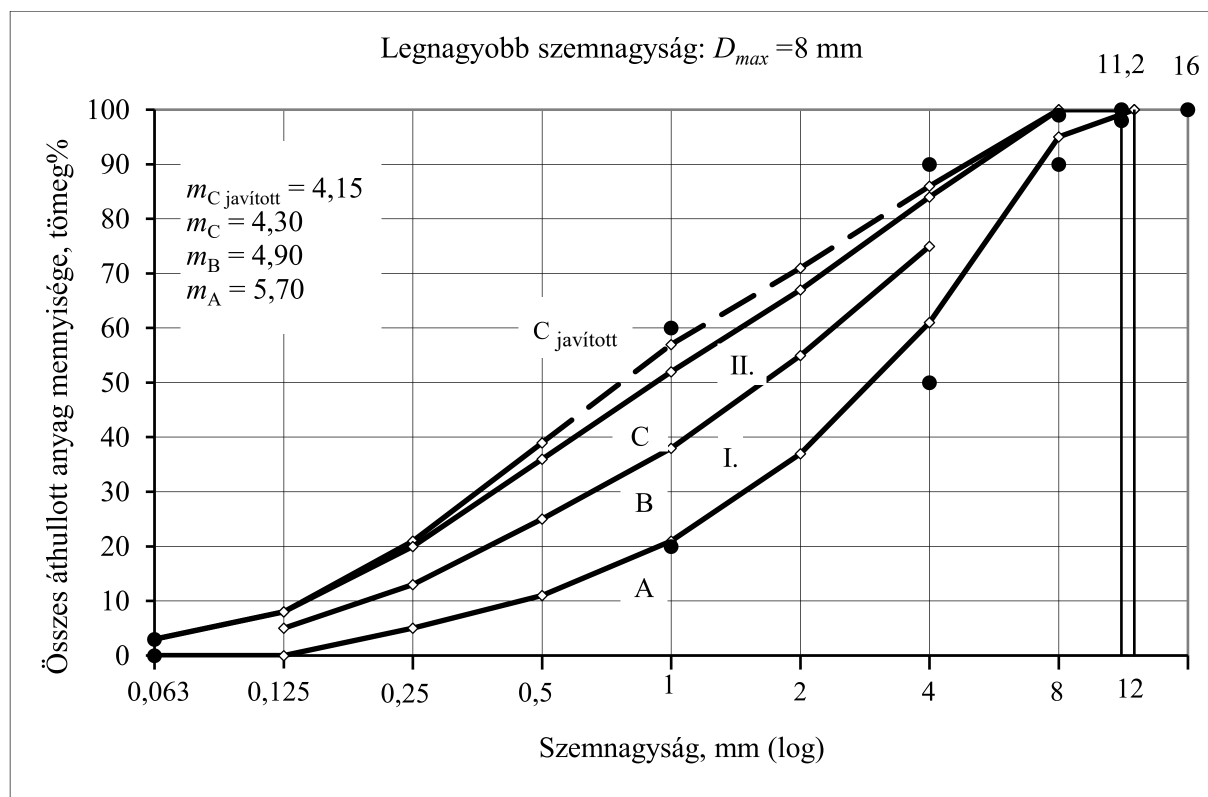
M1. MELLÉKLET. SZEMMEGOSZLÁSI HATÁRGÖRBÉK

Jelmagyarázat az *57.-63. ábrához*:

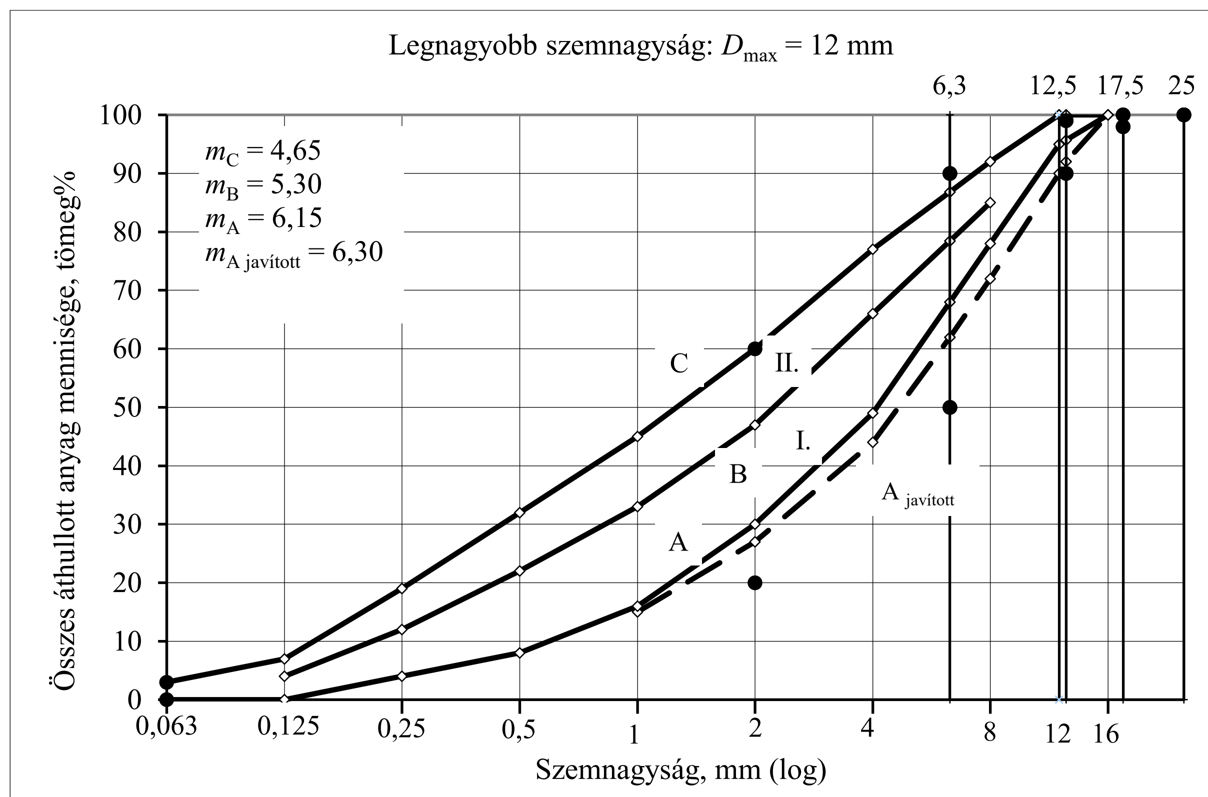
Az A, B, C szemmegoszlási határgörbék és jellemző pontjaik

Az MSZ EN 12620:2003 szabvány szerinti általános határpontok

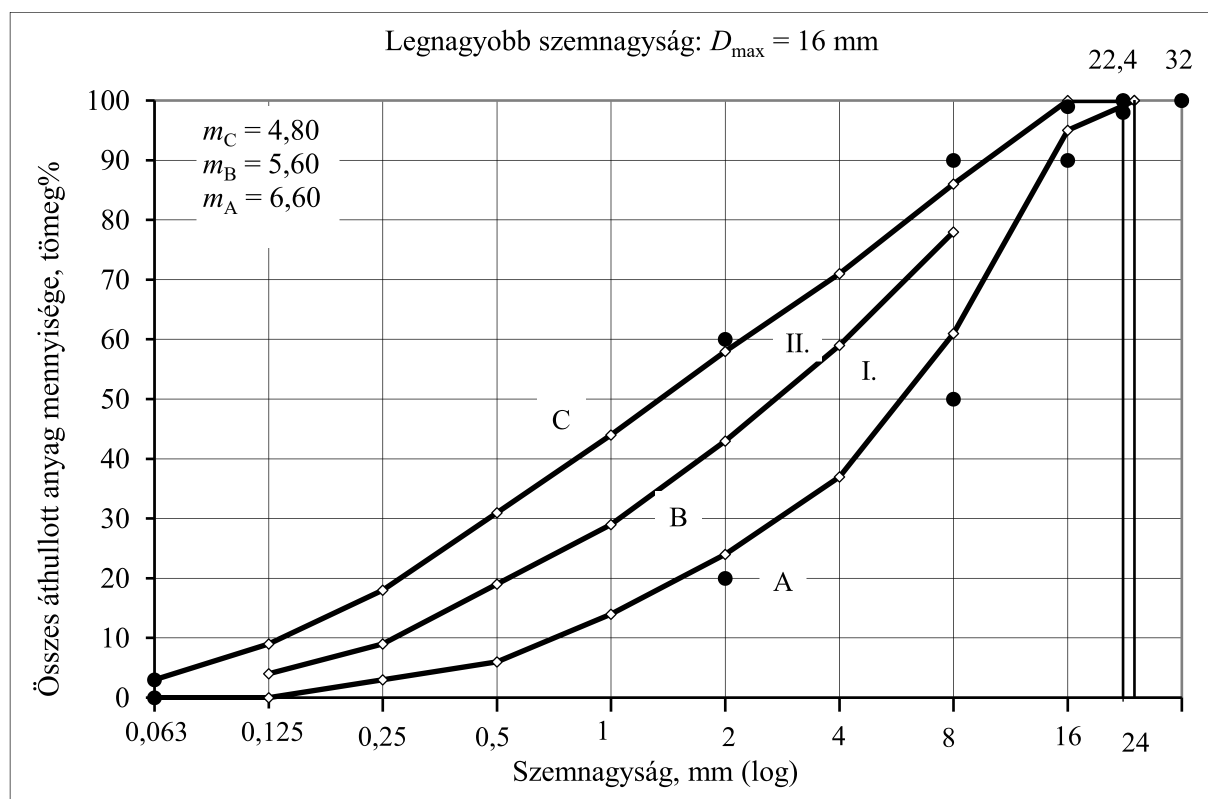
Az MSZ EN 12620:2003 szabvány szerinti f_{11} és $G_A 85$ határpontok



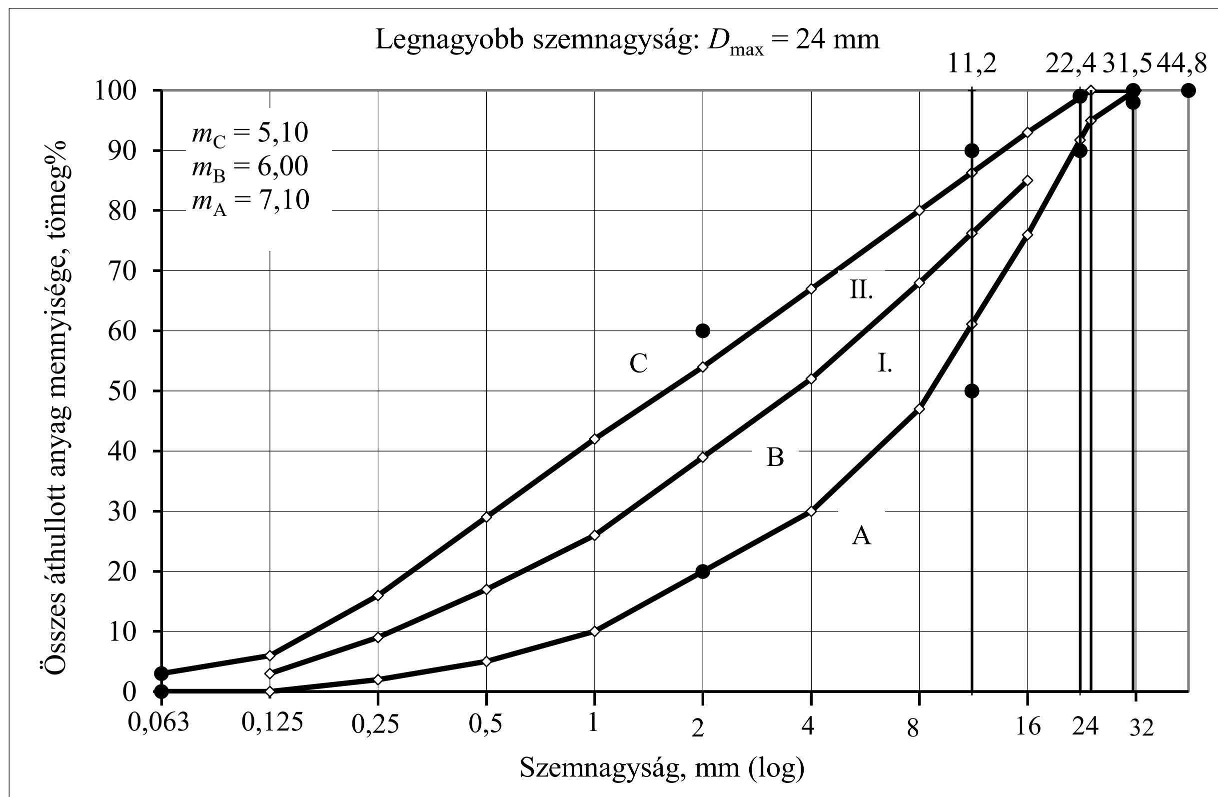
57. ábra: A 8 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján.
Megjegyzés: A $C_{javított}$ határgörbe a DIN 1045-2:2008 szabvány előírását követi.



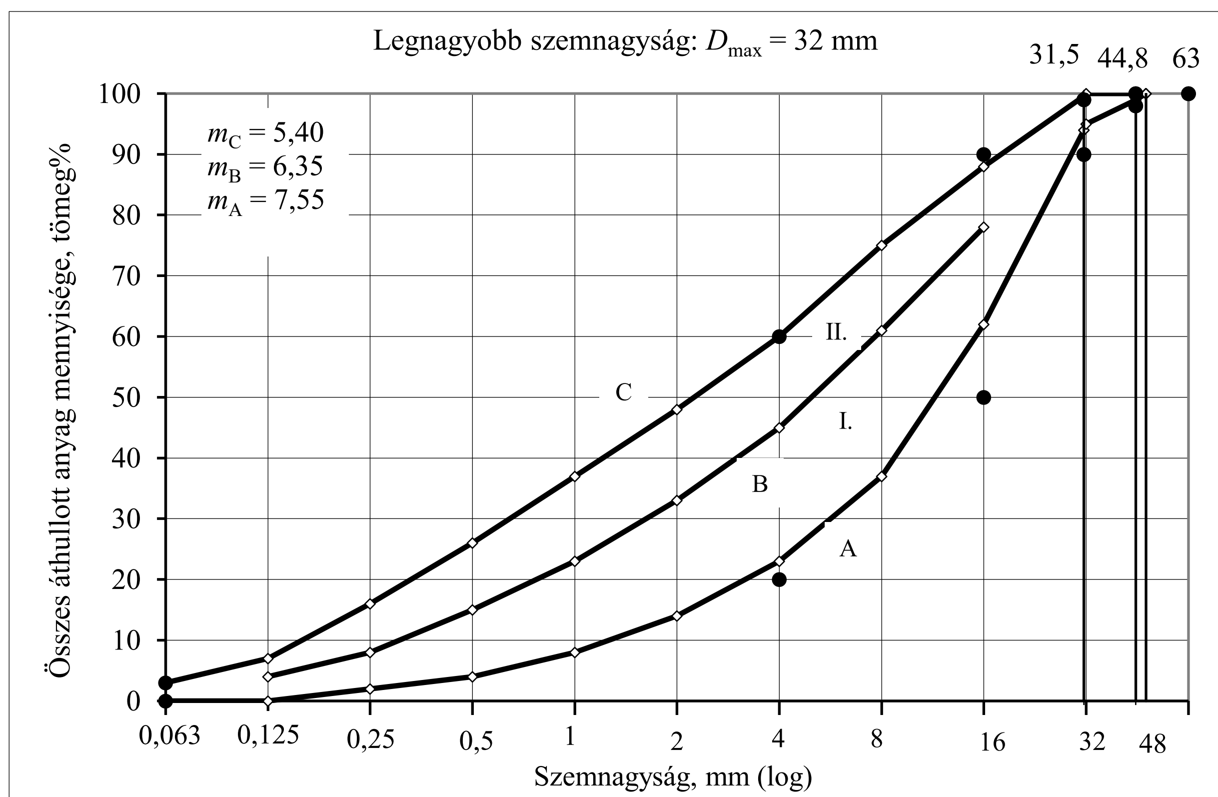
58. ábra: A 12 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján
Megjegyzés: Az A $_{javított}$ határgörbe az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány előírását követi.



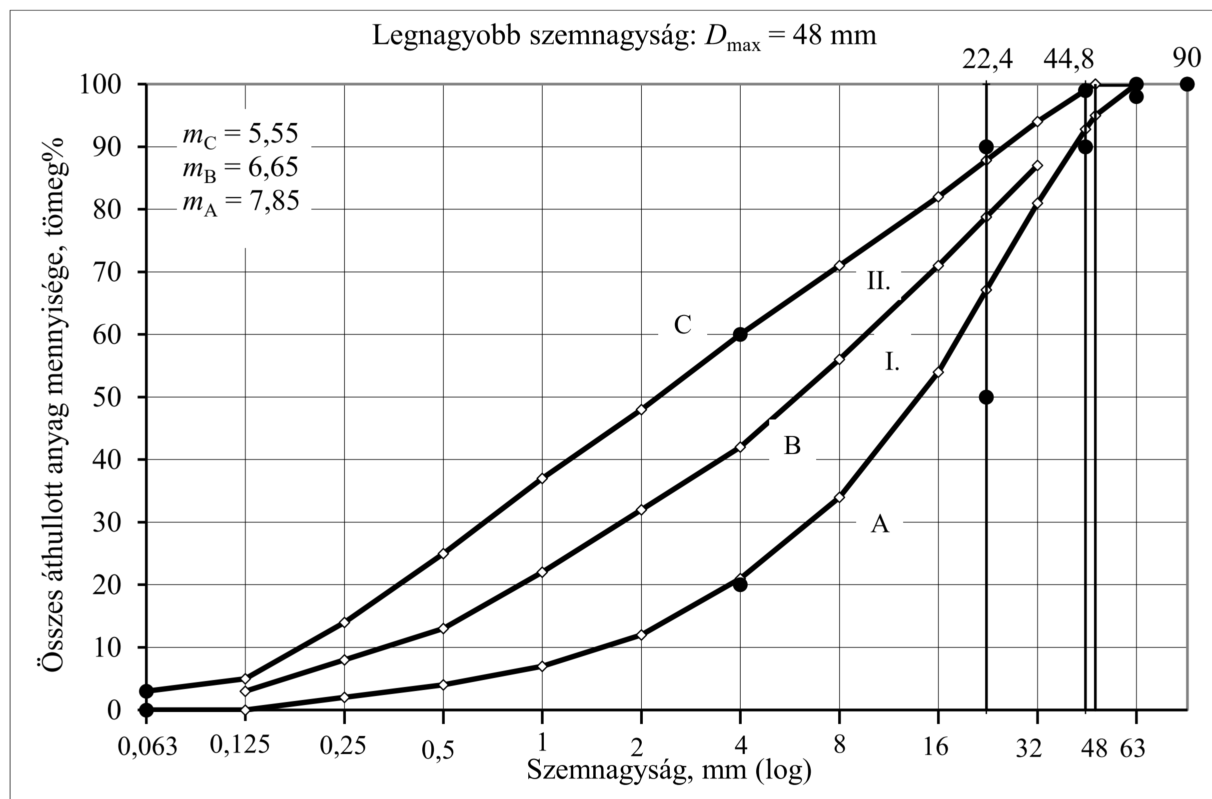
59. ábra: A 16 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján



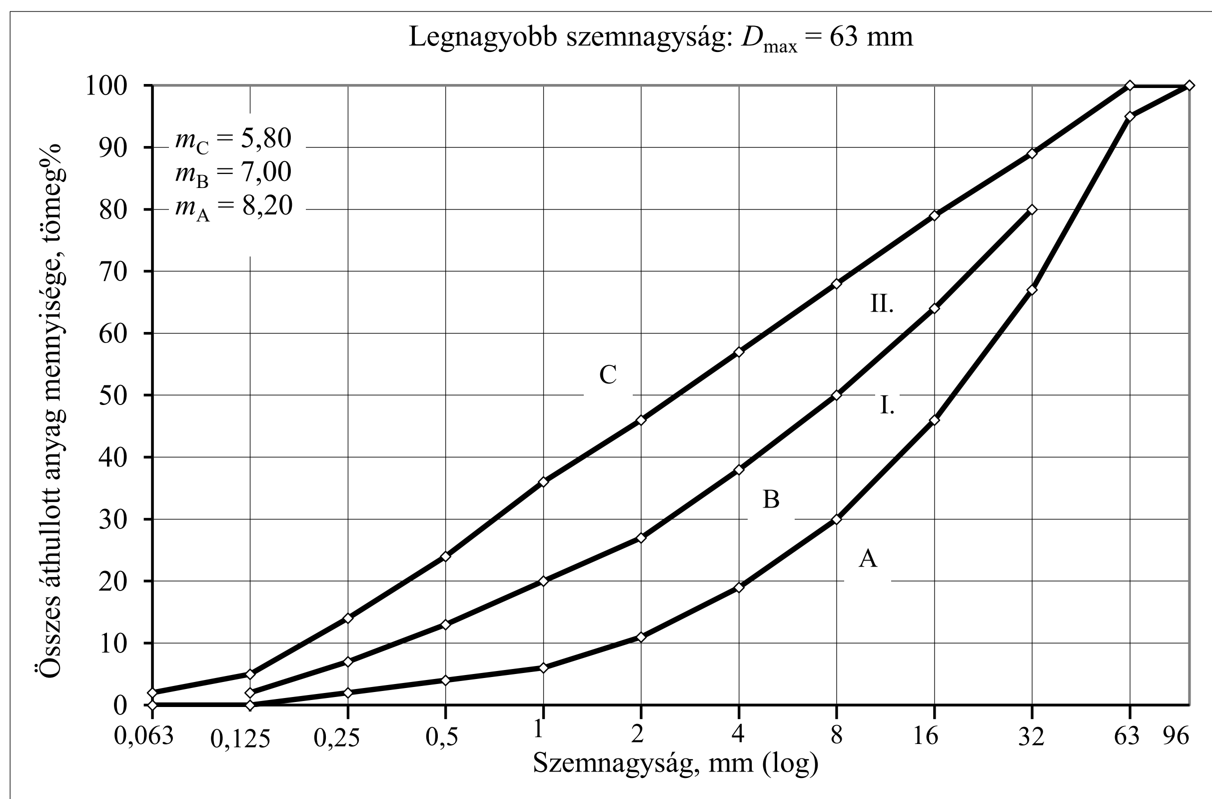
60. ábra: A 24 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján



61. ábra: A 32 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján



62. ábra: A 48 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján



63. ábra: A 63 mm legnagyobb szemnagyságú betonadalékanyag keverék szemmegoszlási határgörbéi és határpontjai az MSZ 4798-1:2004 alapján

M2. MELLÉKLET. LISZTFINOMSÁGÚ SZEMEK

A DIN 1045-2:2008 szabvány, illetve a DIN-Fachbericht 100:2010 jelentés 3.1.48 szakasza, valamint az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 3.1.47 szakasza a lisztfinomságú szemek alatt a betonban lévő 0,125 mm alatti szemek összességét érti, amelybe a *cement*, a 0,125 mm-nél finomabb szemnagyságú adalékanyag *(nagyon finom homok*) szemek és *kiegészítőanyagok* tartoznak. Ennek az a magyarázata, hogy a friss beton tulajdonságai szempontjából nincs nagy jelentősége annak, hogy a lisztfinomságú szemeket melyik betonösszetevő 0,125 mm alatti szemnagyságú szemei alkotják.

A lisztfinomságú szemek technológiailag a beton legfontosabb alkotórésze, mert növelik a friss beton pép-megtartóképességét, csökkentik a kivérzési és szétosztályozódási hajlamát, növelik a vízigényét, befolyásolják a tömöríthetőségét, és jó hatással lehetnek a szilárd beton szövetszerkezetének tömörségére.

A lisztfinomságú szemek túl nagy mennyisége azonban a cementhabarcsot és a friss betont viszkózussá (sűrűn folyóssá) teszi, és növeli annak vízigényét, ami csak folyósító adalékszerrel csökkenthető. A túl sok lisztfinomságú szemet tartalmazó friss betonon nem lehet rendes felületet képezni, mert a felülete megrepedezik. Ha a beton felülete – a sok homok és/vagy lisztfinomságú szem következtében – durva szem hiányos, akkor a beton fagyállósága sokszor, a kopásállósága pedig szinte mindig csökken. Ez az oka annak, hogy a DIN 1045-2:2008 német betonszabványban a lisztfinomságú szemek mennyiségét korlátozzák, az ÖNORM B 4710-1:2007 osztrák betonszabványban pedig megadják a lisztfinomságú szemek elegendő (szükséges) mennyiségét (*Springenschmid* 2007).

A DIN 1045-2:2008 szabvány az EN 206-1:2000 (MSZ EN 206-1:2002) szabvány 5.3.2 szakaszát azzal egészíti ki, hogy a 16 mm és 63 mm közötti legnagyobb szemnagyságú betonban, illetve könnyűbetonban a C50/60, illetve LC50/55 nyomószilárdsági osztályig, azokat is beleértve, az összes XF fagyállósági környezeti osztályban és a német XM kopásállósági környezeti osztályokban, valamint a C55/67 és LC55/60 nyomószilárdsági osztályban és afelett, valamennyi környezeti osztályban a lisztfinomságú szemek mennyisége a könyvünk *86. táblázatában* foglalt értékeket nem lépheti túl. Minden egyéb beton esetén a lisztfinomságú szemek megengedett legnagyobb mennyisége 550 kg/m^3.

A DIN 1045-2:2008 szabvány 5.3.4 szakaszában kihangsúlyozzák, hogy a lisztfinomságú szemek tartalmának 5.3.2 szakaszban előírt határértékeit pernye kiegészítőanyagos betonnal történő víz alatti betonozás esetén túl szabad lépni, annak érdekében, hogy a víz alá kerülő, általában legalább képlékeny konzisztenciájú, F3 terülési osztályú friss beton betonozáskor összefüggő tömegként folyjon, és tömörítés nélkül is zárt beton-szövetszerkezetet eredményezzen. Ennek a betonnak a (cement + pernye)-tartalma legalább 350 kg/m^3, a víz-kötőanyag tényezője (x_{eq} = víz/(cement + 0,7·pernye)) legfeljebb 0,6.

A légbuborékképző adalékszeres betonban a légbuborékok a lisztfinomságú szemek egy részét pótolják, és a friss beton bedolgozhatóságát javítják. A lisztfinomságú szemekben szegény betonban 4 térfogat% légbuborékkal ugyan olyan hatást lehet elérni, mint 60 kg/m^3 lisztfinomságú szem többlet-adagolásával.

A jobb minőségű betonok összetételét érdemes úgy megtervezni, hogy a szemmegoszlás a lisztfinomságú szemek tartományában is kedvező legyen. A cél, akárcsak a durvább szemmegoszlás-tartomány hagyományos tervezése esetén, hogy a betömörített szemhalmaz hézagtérfogata (szemek közötti hézagossága) a lehető legkisebb, illetve a halmaztömörsége a lehető legnagyobb legyen.

86. táblázat: Lisztfinomságú (0,125 mm alatti) szemek megengedett legnagyobb mennyisége, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 16 mm és 63 mm közötti, a DIN 1045-2:2008 szabvány 5.3.2 szakasza, F.4.1 és F.4.2 táblázata szerint

Cementtartalom, kg/m³	**Lisztfinomságú (0,125 mm alatti) szemek megengedett legnagyobb mennyisége kg/m³**
ha a beton, illetve könnyűbeton nyomószilárdsági osztálya *nem nagyobb*, mint C50/60, illetve LC50/55, és a beton környezeti osztálya XF és/vagy XM	
≤ 300	400
≤ 350	450
ha a beton, illetve könnyűbeton nyomószilárdsági osztálya *nagyobb*, mint C50/60, illetve LC50/55 a beton valamennyi környezeti osztálya esetén	
≤ 400	500
450	550
≥ 500	600

Megjegyzés:
1) XM a német kopásállósági környezeti osztályok jele.
2) A lisztfinomságú szemek megengedett legnagyobb mennyiségét (400-450) kg/m³ között és (500-600) kg/m³ között a tényleges cementtartalomnak megfelelően szabad lineárisan interpolálni.
3) Ha a nyomószilárdsági osztály nem nagyobb, mint C50/60, illetve LC50/55 és a cementtartalom több, mint 350 kg/m³, akkor a lisztfinomságú szemek megengedett legnagyobb mennyisége legfeljebb 50 kg/m³-rel, tehát 500 kg/m³-re megnövelhető.
4) Ha puccolános tulajdonságú II. típusú kiegészítőanyagot alkalmazunk, akkor a lisztfinomságú szemek megengedett mennyisége – a puccolános kiegészítőanyag többletadagolásával – legfeljebb 50 kg/m³-rel megnövelhető. (A szerző megjegyzése: Puccolános tulajdonsága van például a természetes trasznak és tufának, a savanyú pernyének, a szilikapornak, metakaolinnak, nanoszilikának; az őrölt, granulált kohósalak és a bázikus pernye rejtett, azaz latens hidraulikus tulajdonságú II. típusú kiegészítőanyag.)
5) Ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 8 mm, akkor a lisztfinomságú szemek megengedett legnagyobb mennyisége legfeljebb 50 kg/m³-rel megnövelhető.

A TL Beton-StB 07 (2007) német szállítási feltételek és a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8. fejezete szerint a beton finomrész-tartalmát a 0,25 mm alatti szemek alkotják.

A MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8. fejezete szerint a finomrész – amelyet a műszaki előírás lisztfinomságú szemeknek nevez – a cementből, a 0,25 mm alatti adalékanyag szemekből és az inert (I. típusú) kiegészítőanyag szemekből áll. A jól bedolgozható vízzáróbeton keverékhez szükséges finomrész-tartalmat a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8.2. táblázata tartalmazza (lásd könyvünk *87. táblázatát*).

87. táblázat: Szükséges finomrész-tartalom (0,25 mm alatti szemek) jól bedolgozható vízzáróbeton keverékhez a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8.2. táblázata szerint

Legnagyobb szemnagyság mm	Betömörített friss vízzáróbeton szükséges 0,25 mm alatti finomrész-tartalma, kg/m^3	
	légbuborékképző nélkül	légbuborékképzővel
8	525	470
12	485	435
16	450	400
24	415	370
32	380	340
48	350	320
63	320	290

Ujhelyi János a vízzáróbetonokkal kapcsolatban a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8. fejezetében („Vízzáró betonok”) írta: „A vízzáróság elsősorban a beton tömöttségétől függ. Ezért fontos, hogy a beton elegendő mennyiségű lisztfinomságú (0-0,25 mm-es) szemcsét tartalmazzon” (lásd könyvünk *87. táblázatát*). A *87. táblázatból* „következik, hogy célszerű olyan folyamatos szemmegoszlású adalékanyagot használni, amelynek a szemmegoszlási görbéje a B határgörbe közelében halad” (lásd könyvünk *57.-63. ábráit*). Ha a betonkeverékünk (0,25 mm alatti adalékanyagszem + cement)-tartalma lényegesen kevesebb, mint a *87. táblázatban* szereplő érték, „akkor a hiányzó finomliszt mennyiségének a pótlására inert ásványi port (I. típusú kiegészítőanyagot) kell alkalmazni.”

„Amennyiben a vízzáróbetonnak fagyállónak is kell lennie, akkor megfelelő mértékben mesterséges légbuborékokat kell képezni (lásd könyvünk *11.2. fejezetét*) légbuborékképző adalékszerrel.” (MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8. fejezete)

A *87. táblázat* „követelményei szerint az adalékanyag 0-0,25 mm-es szemcséinek tömegét kell számításba venni; elvileg tehát az agyag-iszap (lásd könyvünk *19.1.1. fejezetét*) a vízzáróság szempontjából nem kedvezőtlen, mert elősegíti a beton tömöttségét. Mivel azonban a szemnagyság csökkenésével rohamosan nő az adalékanyag adott bedolgozhatósághoz szükséges vízigénye, ezért a szilárdsági követelmények gazdaságos cementtartalommal való elérése érdekében legfeljebb 6 térfogat% agyag-iszaptartalom engedhető meg az adalékanyag 0-4 mm-es homokrészében.” (MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 8. fejezete)


1904 – 2004
Historische
technische
Regelwerke
für den Beton-,
Stahlbeton- und
Spannbetonbau
Bemessung
und Ausführung
Frank Fingerloos (Hrsg.)
Ernst & Sohn
Historische
technische Regelwerke
für den Beton-, Stahlbeton-
und Spannbetonbau
Bemessung und Ausführung
Frank Fingerloos (Hrsg.)
Ernst & Sohn

HIVATKOZOTT JOGSZABÁLYOK

76/769/EGK Az Európai Közösségek Tanácsának irányelve az egyes veszélyes anyagok és készítmények forgalomba hozatalának és felhasználásának korlátozásaira vonatkozó tagállami törvényi, rendeleti és közigazgatási rendelkezések közelítéséről (1976. július 27.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja 13/3. kötet L 262/201 (1976. szeptember 27.)

89/106/EGK Az Európai Közösségek Tanácsának irányelve az építési termékekre vonatkozó tagállami törvényi, rendeleti és közigazgatási rendelkezések közelítéséről (1988. december 21.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja 13/9. kötet (1989. február 11.). Hatályát vesztette a 305/2011/EU rendelet hatálybalépésével.

93/68/EGK Az Európai Közösségek Tanácsának irányelve a 87/404/EGK (egyszerű nyomástartó edény), 88/378/EGK (játékok biztonsága), 89/106/EGK (építési termékek), 89/336/EGK (elektromágneses összeférhetőség), 89/392/EGK (gépek), 89/686/EGK (egyéni védőeszközök), 90/384/EGK (nem automatikus működésű mérlegek), 90/385/EGK (aktív beültethető orvostechnikai eszközök), 90/396/EGK (gázüzemű berendezések), 91/263/EGK (távközlési végberendezések), 92/42/EGK (folyékony vagy gáznemű tüzelőanyaggal működő új melegvízkazánok) és 73/23/EGK (meghatározott feszültséghatáron belüli használatra tervezett villamossági berendezések) irányelv módosításáról (1993. július 22.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 220. (1993. augusztus 30.) Hatályát vesztette a 305/2011/EU rendelet hatálybalépésével.

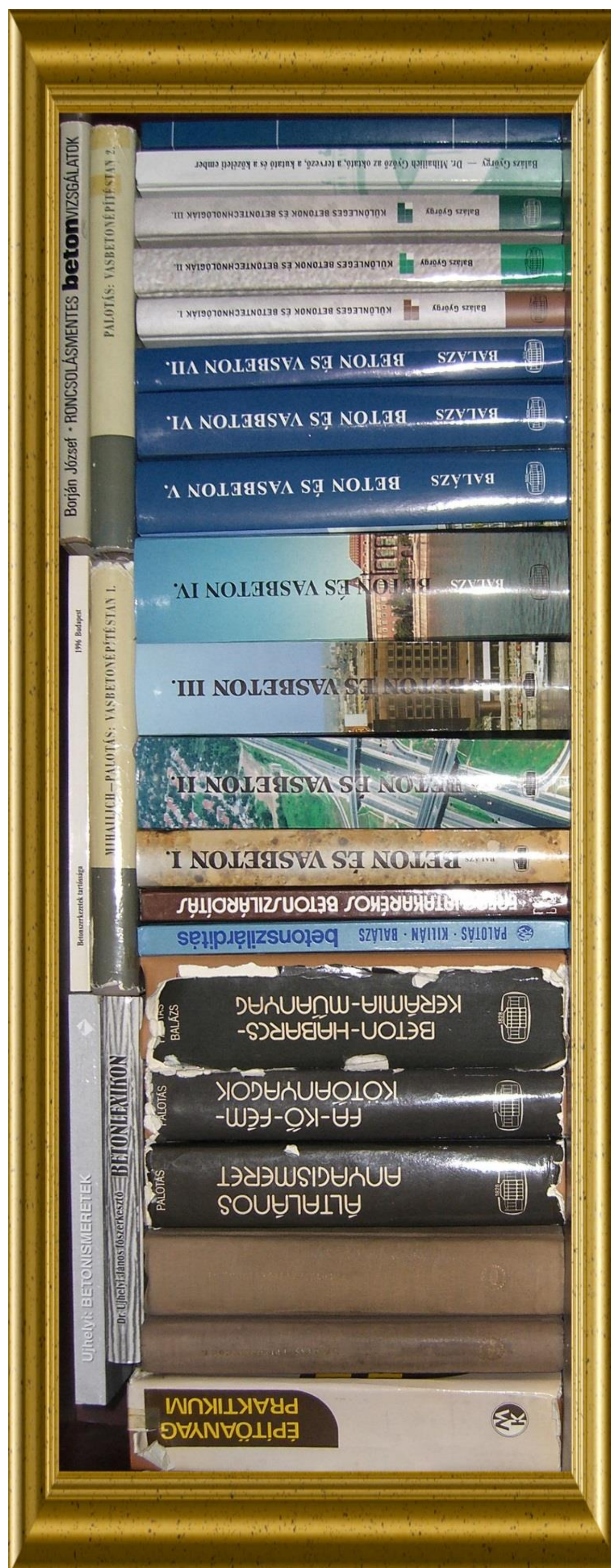
93/465/EGK Az Európai Közösségek Tanácsának határozata a megfelelőség-értékelési eljárások különböző szakaszainak moduljairól és a CE megfelelőségi jelölés feltüntetését és használatát rögzítő, a műszaki harmonizációs irányelvekben használni kívánt szabályokról (1993. július 22.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja 13/12. kötet. L 220/23. (1993. augusztus 30.)

765/2008/EK Az Európai Parlament és a Tanács rendelete a termékek forgalmazása tekintetében az akkreditálás és piacfelügyelet előírásainak megállapításáról és a 339/93/EGK rendelet hatályon kívül helyezéséről (2008. július 9.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 218/30 (2008. augusztus 13.)

768/2008/EK Az Európai Parlament és a Tanács határozata a termékek forgalomba hozatalának közös keretrendszeréről, valamint a 93/465/EGK tanácsi határozat hatályon kívül helyezéséről (2008. július 9.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 218/82 (2008. augusztus 13.)

305/2011/EU Az Európai Parlament és a Tanács rendelete az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről (2011. március 9.). Az Európai Unió Hivatalos Lapja I. 88/5 kötet (2011. április 4.)


ZEHN DEUTSCHE MARK
10
DEUTSCHE BUNDESBANK
Banknote
DG7678836U6
DG7678836U6


Borján József · RONCSOLÁSMENTES betonVIZSGÁLATOK
PALOTÁS: VASBETONÉPÍTÉSTAN 2.
Balázs György — Dr. Mihailich Győző az oktató, a tervező, a kutató és a közéleti ember
Balázs György KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK III.
Balázs György KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK II.
Balázs György KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK I.
BALÁZS BETON ÉS VASBETON VII.
BALÁZS BETON ÉS VASBETON VI.
BALÁZS BETON ÉS VASBETON V.
BETON ÉS VASBETON IV.
BETON ÉS VASBETON III.
BETON ÉS VASBETON II.
BETON ÉS VASBETON I.
1996 Budapest
MIHAILICH—PALOTÁS: VASBETONÉPÍTÉSTAN I.
Betonszerkezetek tartóssága
PALOTÁS · KILIÁN · BALÁZS betonszilárdítás
BALÁZS BETON-HABARCS-KERÁMIA-MŰANYAG
PALOTÁS FA-KŐ-FÉM-KÖTŐANYAGOK
PALOTÁS ÁLTALÁNOS ANYAGISMERET
Dr. Ujhelyi János főszerkesztő BETONLEXIKON
Ujhelyi: BETONISMERETEK
ÉPÍTŐANYAG PRAKTIKUM

HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, MŰSZAKI ELŐÍRÁSOK ÉS IRÁNYELVEK

ASTM C 227:2003	Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement Aggregate Combinations (Mortar Bar Method)
ASTM C 289:2007	Standard Test Method for Potential Alkali Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)
ASTM C 441:2005	Standard Test Method for Effectiveness of Pozzolans or Ground Blast Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali Silica Reaction. Jelenleg érvényes verzió: ASTM C441 / C441M - 11
ASTM C 457:1998	Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete. Jelenleg érvényes verzió: ASTM C457 / C457M – 11 (2011)
ASTM C 494:2012	Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Jelenleg érvényes verzió: ASTM C494 / C494M – 12 (2012)
ASTM C 586:2011	Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)
ASTM C 805:2002	Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. Jelenleg érvényes verzió: ASTM C805 / C805M – 08 (2008)
ASTM C 1012:1995	Standard Test Method for Length Change of Hydraulic Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution. Jelenleg érvényes verzió: ASTM C1012 / C1012M – 12 (2012)
ASTM C 1202:2012	Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
ATV-M 168:1998	Korrosion von Abwasseranlagen. Abwasserableitung. Merkblatt. Abwassertechnische Vereinigung e. V. (ATV, amelynek 2000-ben a DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. lett az utóda)
BV-MI 01:2005	Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával (Főszerkesztő: Balázs L. Gy., társszerző és szerkesztő: Kausay T.). Beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv. *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata. Budapest, 2005.
DAfStb-Heft 569:2007	Sachstandbericht. Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff. Sachstand und Szenarien für die Anwendung in Deutschland. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH. Berlin, Wien, Zürich, 2007.
DAfStb-Richtlinie	Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteiskörnungen nach DIN EN 12620. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH. Berlin, Wien, Zürich, 2010.
DBV-Merkblatt	Betondeckung und Bewehrung nach EC 2 (Betondeckung-Merkblatt). Berlin, 2011.

DIN 459-1:1995 Mischer für Beton und Mörtel. Teil 1: Begriffe, Leistungsermittlung, Größen

DIN 1045:1978 Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung

DIN 1045:1988 Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung

DIN 1045-1:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion

DIN 1045-2:2001 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. A DIN EN 206-1 európai szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma

DIN 1045-2:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. A DIN EN 206-1 európai szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma

DIN 1045-3:2001 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung. Visszavont szabvány. Érvénytelenítette a DIN 1045-3:2008, DIN 1045-3:2012, DIN EN 13670:2011 szabvány

DIN 1045-3:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 3: Bauausführung. Az előző verzió 2001-ben jelent meg

DIN 1048-2:1991 Prüfverfahren für Beton. Festbeton im Bauwerken und Bauteilen

DIN 1048-4:1991 Prüfverfahren für Beton. Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen. Anwendung von Bezugsgeraden und Auswertung mit besonderen Verfahren

DIN 1048-5:1991 Prüfverfahren für Beton. Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper

DIN 1164-10:2004 Zement mit besonderen Eigenschaften Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften

DIN 4030-2:2008 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben

DIN 4102-4:1994 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

DIN 4102-4/A1:2004 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile; Änderung A1

DIN 4102-22:2004 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 22: Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten

DIN 4226-100:2002 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel. Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen

DIN 5033-2:1992	Farbmessung. Teil 2.: Normvalenz-Systeme
DIN 18506:2002	Hydraulische Boden- und Tragschichtbinder. Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien
DIN 18560-7:2004	Estriche im Bauwesen. Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche (Industrieestriche)
DIN V 20000-120:2006	Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken. Teil 120: Anwendungsregeln zu DIN EN 13369:2004
DIN EN 1990:2002	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. Módosították: DIN EN 1990/A1:2006 és a DIN EN 1990/A1 Berichtigung 1:2010 jel alatt
DIN EN 13369:2001	Allgemeine Regeln für Betonfertigteile. Visszavont szabvány. Érvénytelenítette a DIN EN 13369:2004 szabvány
DIN EN 13369:2004	Allgemeine Regeln für Betonfertigteile. Visszavont szabvány. Érvénytelenítette a DIN EN 13369:2010 szabvány
DIN EN 13369:2010	Allgemeine Regeln für Betonfertigteile
DIN EN 13670:2011	Ausführung von Tragwerken aus Beton
E DIN EN 13791:2006	Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen. Szabványtervezet. Az európai prEN 13791 szabványtervezet német változata. Felváltotta a végleges DIN EN 13791:2008 szabvány
DIN EN 13791:2008	Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen
DIN-Fachbericht 100:2010	Beton. Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton. Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
DIN-Fachbericht 102:2009	Betonbrücken
DWA-M 168:2010	Korrosion von Abwasseranlagen. Abwasserableitungen. DWA-Regelwerk, Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
EN 206-1:2000	Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity. Módosították: EN 206-1:2000/A1:2004 és EN 206-1:2000/A2:2005 jel alatt
EN 1992-1-1:2004	Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Módosították: EN 1992-1-1:2004/AC:2008 jel alatt.
ETAG 001:2008	Guideline for European Technical Approval of metal anchors for use in concrete
e-UT 05.01.12:2008	Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. 1. rész: Kőanyaghalmazok utak, repülőterek és más közforgalmi területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz. Útügyi műszaki előírás

e-UT 05.01.14:2009 Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. 2. rész: Zúzott kőanyaghalmazok út-, pálya- és hídbetonokhoz. Útügyi műszaki előírás (Régi jele: ÚT 2-3.601-2:2008)

e-UT 05.02.31:2008 Útbeton betonhulladék újrahasznosításával. Útügyi műszaki előírás

e-UT 06.03.11:2006 Kerékpár utak, gyalogutak és járdák pályaszerkezete. Útügyi műszaki előírás

e-UT 06.03.12:2009 Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése. Útügyi műszaki előírás

e-UT 06.03.31:2006 Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények. Útügyi műszaki előírás

e-UT 06.03.32:1993 Útépítési beton burkolatalapok. Követelmények. Útügyi műszaki előírás

e-UT 06.03.52:2007 Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Tervezési előírások. Útügyi műszaki előírás

e-UT 07.01.14:2004 Közúti hidak tervezési előírásai IV. Beton, vasbeton és feszített vasbeton közúti hidak tervezése. Útügyi műszaki előírás

e-UT 07.01.17:2010 Szigetelés és aszfaltburkolat nélküli NT-betonból készülő hídfelszerkezetek tervezése és építése. MAÚT tervezési útmutató (TÚ 21)

e-Ut 09.04.11:1999 Közúti betonburkolatok és műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata Schmidt-kalapáccsal és ultrahanggal. Útügyi műszaki előírás (Kidolgozta *Borján József*)

ISO 565:1990 Test sieves. Woven metal wire cloth, perforated plate and electroformed sheet. Nominal size of openings

ISO 4316:1977 Surface active agents. Determination of pH of aqueous solutions. Potentiometric method

ISO 7150-2:1986 Water quality. Determination of ammonium. Part 2: Automated spectrometric method

ISO 7890-1:1986 Water quality. Determination of nitrate. Part 1: 2,6-Dimethylphenol spectrometric method

ISO 9277: 2010 Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption. BET method

JGJ/T23:2001 Nyomószilárdság meghatározása visszapattanási érték alapján. Kínai szabvány

MÉASZ ME-04.19:1995 Beton és vasbeton készítése. Műszaki előírás. Magyar Építőanyagipari Szövetség. Budapest, 1995.

MI 15011:1988 Épületek megépült teherhordó szerkezeteinek erőtani vizsgálata. Visszavont műszaki irányelv

MI-07-3318:1986 Közúti betonburkolatok és műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata Schmidt-kalapáccsal. Visszavont közlekedési ágazati műszaki irányelv

MSZ 448-9:1980 Ivóvízvizsgálat. Ólom meghatározása

MSZ 448-18:1977 Ivóvízvizsgálat. Foszfát meghatározása

MSZ 4702-2:1997 Cementek. Követelmények és megfelelőségi feltételek. Visszavont szabvány

MSZ 4714-3:1986	A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása
MSZ 4715:1955	Megszilárdult beton vizsgálata. Visszavont szabvány
MSZ 4715:1961	Megszilárdult beton vizsgálata. Visszavont szabvány
MSZ 4715-3:1972	Megszilárdult beton vizsgálata. Hidrotechnikai tulajdonságok. Érvényes szabvány
MSZ 4715-4:1972	Megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata. Visszavont szabvány
MSZ 4715-4:1987	Megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata
MSZ 4715-5:1972	Megszilárdult beton vizsgálata. Roncsolásmentes vizsgálatok. Visszavont szabvány
MSZ 4719:1958	A betonok fajtái és jelölésük. Visszavont szabvány
MSZ 4719:1982	Betonok. Visszavont szabvány
MSZ 4720-2:1980	A beton minőségének ellenőrzése. 2. rész: Általános tulajdonságok ellenőrzése. Visszavont szabvány
MSZ 4737-1:2002	Különleges cementek. 1. rész: Szulfátálló cementfajták
MSZ 4737-2:2002	Különleges cementek. 2. rész: Fehér cementek
MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ 9620-3:1990	Fénytechnológiai terminológia. Színmérés
MSZ 12750-8:1989	Felszíni vizek vizsgálata. A cinktartalom meghatározása
MSZ 15022-1:1986	Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. 1. rész: Vasbeton szerkezetek
MSZ 18287-1:1990	Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. Los Angeles-vizsgálat
MSZ 18287-6:1984	Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. Mikro-Deval-vizsgálat
MSZ 18288-1:1991	Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlás vizsgálata szitálással. Visszavont szabvány
MSZ 18288-2:1984	Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlás vizsgálata ülepítéssel
MSZ 18288-3:1978	Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemalak vizsgálata
MSZ 18288-5:1981	Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlásjellemzők számítása
MSZ 18289-3:1985	Építési kőanyagok időállóságvizsgálata. Szulfátos kristályosítás. Visszavont szabvány
MSZ 18290-1:1981	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: Kopási vizsgálat Böhme módszerrel
MSZ 18291:1978	Zúzottkő. Visszavont szabvány
MSZ 18293:1979	Homok, homokos kavics és kavics. Visszavont szabvány
MSZ CEN/TR 15177:2009	A beton fagyállóságának vizsgálata. Belső szerkezeti károsodás. Európai műszaki jelentés
MSZ CEN/TS 12390-9:2007	A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság. Lehámlás. Európai műszaki előírás

MSZE 21992-1-2:2008	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre (Az MSZ EN 1992-1-2:2005 nemzeti melléklete)
MSZ EN 196-1:2005	Cementvizsgálati módszerek. 1. rész: A szilárdság meghatározása
MSZ EN 196-2:2005	Cementvizsgálati módszerek. 2. rész: A cement kémiai elemzése
MSZ EN 196-3:2005	Cementvizsgálati módszerek. 3. rész: A kötési idő és a térfogat-állandóság meghatározása. Módosították: MSZ EN 196-3:2005+A1:2009 jel alatt
MSZ EN 196-5:2011	Cementvizsgálati módszerek. 5. rész: A puccoláncementek puccolánosságának meghatározása
MSZ EN 196-6:2010	Cement vizsgálati módszerek. 6. rész: Az őrlési finomság meghatározása
MSZ EN 196-7:2008	Cementvizsgálati módszerek. 7. rész: A cement mintavételi és minta-előkészítési eljárásai
MSZ EN 196-8:2010	Cementvizsgálati módszerek. 8. rész: Hidratációs hő. Oldásos módszer
MSZ EN 196-9:2010	Cementvizsgálati módszerek. 9. rész: Hidratációs hő. Féladiabatikus módszer
MSZ EN 196-10:2007	Cementvizsgálati módszerek. 10. rész: A cement vízoldható króm(VI)- tartalmának meghatározása
MSZ EN 197-1:2000	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosították: MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 197-1:2000/A3:2007 jel alatt
MSZ EN 197-1:2011	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei.
MSZ EN 197-4:2004	Cement. 4.rész: Kis kezdőszilárdságú kohósalakcementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Visszavonták, mert beépült az MSZ EN 197-1:2011 szabványba
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Módosították: MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 jel alatt
MSZ EN 413-1:2011	Kőművescement. 1. rész: Összetétel, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 450-1:2013	Pernye betonhoz. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 451-1:2004	Pernyevizsgálati módszerek. 1. rész: A szabad kalcium-oxid meghatározása
MSZ EN 451-2:1998	Pernyevizsgálati módszerek. 2. rész: A finomság meghatározása vizes szitálással
MSZ EN 480-10:2009	Adalékszer betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 10. rész: A vízoldható kloridtartalom meghatározása

MSZ EN 480-11:2006	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása
MSZ EN 933-1:2012	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat
MSZ EN 933-3:1998	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A szemalak meghatározása. Lemezességi szám. Módosították: MSZ EN 933-3:1997 /A1:2004 jel alatt
MSZ EN 933-4:2008	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 4. rész: A szemalak meghatározása. Szemalaktényező
MSZ EN 933-6:2003	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: Felületi jellemzők meghatározása. A kőanyaghalmazok kifolyási tényezője
MSZ EN 933-8:2000	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 8. rész: A finomszem-tartalom meghatározása. Homokegyenérték-módszer
MSZ EN 933-9:2009	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 9. rész: A finomszem-tartalom meghatározása. Metilénkékmódszer
MSZ EN 933-10:2009	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 10. rész: A finomszem-tartalom meghatározása. A kőliszt szemmegoszlása (légsugaras szitálás)
MSZ EN 933-11:2009	Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 11. rész: Újrahasznosított durva kőanyaghalmazok alkotóanyagainak osztályozó vizsgálata
MSZ EN 934-1:2008	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz.1. rész: Közös követelmények
MSZ EN 934-2:2009+A1:2012	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés. Előzményei: MSZ EN 934-2:2002 és MSZ EN 934-2:2001/A2:2006
MSZ EN 934-4:2009	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 4. rész: Adalékszerek feszítőkábelek injektálóhabarcsához. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés
MSZ EN 934-5:2008	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 5. rész: Adalékszerek lőtt betonhoz. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés

MSZ EN 934-6:2002	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 6. rész: Mintavétel, megfelelőség-ellenőrzés és megfelelőség-értékelés. Módosították: MSZ EN 934-6:2001/A1:2006 jel alatt
MSZ EN 1008:2003	Keverővíz betonhoz. A betonkeverékhez szükséges víz mintavétele, vizsgálata és alkalmasságának meghatározása, beleértve a betongyártási folyamatból visszanyert vizet is
MSZ EN 1008:2003	Keverővíz betonhoz. A betonkeverékhez szükséges víz mintavétele, vizsgálata és alkalmasságának meghatározása, beleértve a betongyártási folyamatból visszanyert
MSZ EN 1097-1:1998	Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval). Módosították: MSZ EN 1097-1:1996/A1:2004 jel alatt
MSZ EN 1097-2:2010	Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása
MSZ EN 1097-3:2000	Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A halmazsűrűség és a hézagtérfogat meghatározása
MSZ EN 1097-6:2001	Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása. Módosították: MSZ EN 1097-6:2000/A1:2006 jel alatt
MSZ EN 1338:2003	Beton útburkoló elemek. Követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 1339:2003	Beton járdalapok. Követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 1340:2003	Beton útszegélyelemek. Követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 1341:2002	Természetes útburkoló kőlapok külső kövezésre. Követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 1342:2002	Természetes útburkoló kövek külső kövezésre. Követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 1367-1:2007	Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 1. rész: A fagyállóság meghatározása
MSZ EN 1367-2:2010	Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás
MSZ EN 1367-6:2009	Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálatai. 6. rész: A fagyállóság meghatározása só (NaCl) jelenlétében
MSZ EN 1504-2:2005	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőség-értékelés. 2. rész: A beton felületvédelmi rendszerei

MSZ EN 1504-3:2006	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőség-értékelés. 3. rész: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás
MSZ EN 1536:2012	Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Fúrt cölöpök
MSZ EN 1538:2012	Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Résfalak
MSZ EN 1542:2000	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A tapadószilárdság meghatározása leszakítással
MSZ EN 1744-1:2010	Kőanyaghalmazok kémiai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: Kémiai elemzés
MSZ EN 1766:2000	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. Referenciabetonok vizsgálathoz
MSZ EN 1990:2011	Eurocode: A tartószerkezetek tervezésének alapjai. Módosították: MSZ EN 1990:2002/A1:2008 jel alatt
MSZ EN 1992-1-1:2010	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1992-1-2:2005 és :2010	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre
MSZ EN 10080:2005	Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények
MSZ EN 10088-1:2005	Korrózióálló acélok. 1. rész: A korrózióálló acélok jegyzéke
MSZ EN 10088-5:2009	Korrózióálló acélok. 5. rész: Szerkezeti célú, korróziónak ellenálló acélból készült rudak, hengerhuzalok, huzalok, idomacélok és fényes termékek műszaki szállítási feltételei
MSZ EN 12350-1:2009	A friss beton vizsgálata. 1. rész: Mintavétel
MSZ EN 12350-2:2009	A friss beton vizsgálata. 2. rész: Roskadásvizsgálat
MSZ EN 12350-3:2009	A friss beton vizsgálata. 3. rész: VEBE vizsgálat
MSZ EN 12350-4:2009	A friss beton vizsgálata. 4. rész: Tömörödési tényező (helyesen: *Tömörítési* mérték)
MSZ EN 12350-5:2009	A friss beton vizsgálata. 5. rész: Terülésmérés ejtőasztalon
MSZ EN 12350-6:2009	A friss beton vizsgálata. 6. rész: Testsűrűség
MSZ EN 12350-7:2009	A friss beton vizsgálata. 7. rész: Levegőtartalom. Nyomásmódszerek
MSZ EN 12350-8:2010	A friss beton vizsgálata. 8. rész: Öntömörödő beton. A roskadási terülés vizsgálata
MSZ EN 12350-9:2010	A friss beton vizsgálata. 9. rész: Öntömörödő beton. Tölcséres kifolyási vizsgálat
MSZ EN 12350-10:2010	A friss beton vizsgálata. 10. rész: Öntömörödő beton. L szekrényes vizsgálat
MSZ EN 12350-11:2010	A friss beton vizsgálata. 11. rész: Öntömörödő beton. Az ülepedési stabilitás szitás vizsgálata
MSZ EN 12350-12:2010	A friss beton vizsgálata. 12. rész: Öntömörödő beton. Fékezőgyűrűs vizsgálat

MSZ EN 12371:2002	Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A fagyállóság meghatározása
MSZ EN 12390-1:2013	A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatestek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei
MSZ EN 12390-2:2009	A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: A szilárdságvizsgálatokhoz szükséges próbatestek készítése és tárolása
MSZ EN 12390-3:2009	A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága
MSZ EN 12390-4:2000	A megszilárdult beton vizsgálata. 4. rész: Nyomószilárdság. Előírások a vizsgálóberendezésekre
MSZ EN 12390-7:2009	A megszilárdult beton vizsgálata. 7. rész: A megszilárdult beton testsűrűsége
MSZ EN 12390-8:2009	A megszilárdult beton vizsgálata. 8. rész: A vízzáróság vizsgálata
MSZ EN 12504-1:2009	A beton vizsgálata szerkezetekben. 1. rész: Fúrt próbatestek. Mintavétel, vizsgálat és a nyomószilárdság meghatározása
MSZ EN 12504-2:2013	A beton vizsgálata szerkezetekben. 2. rész: Roncsolásmentes vizsgálat. A visszapattanási érték meghatározása
MSZ EN 12504-3:2005	A beton vizsgálata szerkezetekben. 3. rész: A kihúzási erő meghatározása
MSZ EN 12504-4:2005	A beton vizsgálata szerkezetekben. 4. rész: Az ultrahang terjedési sebességének meghatározása
MSZ EN 12620:2002+A1:2008	Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz
MSZ EN 12878:2005	Pigmentek cement- és/vagy mészalapú építőanyagok színezésére. Műszaki követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 13043:2003	Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonatokhoz
MSZ EN 13055-1:2003	Könnyű kőanyaghalmazok. 1. rész: Könnyű kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz és javítására. Vizsgálati módszerek. A nyomási rugalmassági modulus meghatározása
MSZ EN 13242:2002+A1:2008	Kőanyaghalmazok műtárgyakban és útépítésben használt, kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú anyagokhoz
MSZ EN 13263-1:2005+A1:2009	Szilikapor betonhoz. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 13285:2011	Kötőanyag nélküli keverékek. Előírások
MSZ EN 13295:2004	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A karbonizációval (helyesen: karbonátosodással) szembeni ellenálló képesség meghatározása
MSZ EN 13369:2004	Előregyártott betontermékek általános szabályai. Módosították: MSZ EN 13369:2004/A1:2006 jel alatt

MSZ EN 13577:2007 Vegyi hatásnak kitett beton. A víz agresszív szén-dioxid-tartalmának meghatározása

MSZ EN 13639:2003 A mészkő összes szervesszén-tartalmának meghatározása.

MSZ EN 13670:2010 Betonszerkezetek kivitelezése

MSZ EN 13687-1:2002 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 1. rész: Fagyasztási-olvasztási ciklusok olvasztósó oldatba merítéssel

MSZ EN 13687-3:2002 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 3. rész: Hőmérséklet-változási ciklusok olvasztósóoldat hatása nélkül

MSZ EN 13791:2007 Betonszerkezetek és előre gyártott betonelemek helyszíni nyomószilárdságának becslése

MSZ EN 13813:2003 Esztrichek és padozati anyagok. Esztrichhabarcsok. Tulajdonságok és követelmények

MSZ EN 13892-3:2004 Esztrichhabarcsok vizsgálati módszerei. 3. rész: A kopási ellenállás meghatározása Böhme szerint

MSZ EN 14068:2004 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A betonban lévő kiinjektált, nem mozgó repedések vízzáróságának meghatározása

MSZ EN 14630:2007 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A megszilárdult beton karbonátosodási mélységének meghatározása fenolftaleines módszerrel

MSZ EN 15167-1:2007 Őrölt, granulált kohósalak betonban, habarcsban és injektálóhabarcsban való felhasználásra. 1. rész: Fogalommeghatározások, előírások és megfelelőségi feltételek

MSZ EN ISO 7980:2000 Vízminőség. A kalcium és a magnézium meghatározása. Atomabszorpciós spektrometriás módszer

MSZ ISO 7150-1:1992 Az ammónium meghatározása vízben. 1. rész: Manuális spektrofotometriás módszer

Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken: Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Abteilung Straßenbau. 2011

NF EN 206-1 (NF P 18-325-1:2009) Béton. Performances, production, mise en œuvre et critères de conformité. Francia honosított szabvány

ON-NP 10:2002 Zusammenstellung der Prüfverfahren Beton (PVB) gemäß ÖNORM B 3303. Visszavont szabvány, a helyére lépett szabvány jelzete: ONR 23303:2010

ONR 23303:2010	Prüfverfahren Beton (PVB) - Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe. Az ÖNORM B 3303:2002 és az ON-NP 10:2002 szabvány utódszabványa
ÖBRV-Richtlinie:2009	Richtlinie für Recycling-Baustoffe. Gesamtausgabe „Grün" + „Rot". Österreichischer Baustoff-Recycling Verband. 8. Auflage. September 2009. Wien
ÖNORM B 3303:2002	Betonprüfung. Visszavont szabvány, a helyére lépett szabvány jelzete: ONR 23303:2010
ÖNORM B 4710-1:2007	Beton. Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis. Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton. Az ÖNORM EN 206-1:2005 európai szabvány osztrák nemzeti alkalmazási dokumentuma
ÖNORM B 5017:2000	Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau (HL-SW-Beton). Herstellung, Verwendung und Gütenachweis
ÖNORM EN 206-1:2005	Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (konsolidierte Fassung)
prEN 206:2012	Concrete. Specification, performance, production and conformity. Európai szabványtervezet. Helyettesíteni fogja az EN 206-1:2000 és az EN 206-9:2010 szabványokat
SIA 262:2003	Betonbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich
SS 137003:2002	Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige. Az SS EN 206-1 európai szabvány svéd nemzeti alkalmazási dokumentuma
TL Gestein-StB 04	Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Ausgabe 2004 / Fassung 2007. FGSV Verlag GmbH, Köln
TL Beton-StB 07	Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Ausgabe 2007. FGSV Verlag GmbH, Köln
TP Gestein-StB	Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Ausgabe 2008. FGSV Verlag GmbH, Köln
ÚT 2-3.601:2006	Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. Visszavont útügyi műszaki előírás
Z-30.3-6:2003	Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Deutsches Institut für Bautechnik

HIVATKOZOTT IRODALOM

Abrams, D. A.: Design of concrete mixtures. Bull. 1. Structural Materials Research Laboratory, Lewis Inst. Chicago, 1918 és 1925.

Balázs Gy.: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.

Balázs Gy.: „A beton károsodásának okai fagy és légköri szennyeződések hatására” című fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok” című könyvben (Szerkesztő: Dr. Balázs György és dr. Tóth Ernő), Műegyetemi Kiadó. Budapest, 1997.

Balázs Gy. – Csányi E.: A levegő szennyezettségének hatása a vasbeton tartósságára. Vasbetonépítés. III. évf. 2001. 3. szám. pp. 89-94.

Balázs L. Gy. – Kausay T.: Betonkészítés beton- és téglahulladék újrahasznosításával. 1. rész: Újrahasznosított adalékanyagok. Vasbetonépítés. IX. évf. 2007. 2. szám. pp. 38-44., 2. rész: Betontervezés és betontulajdonságok. Vasbetonépítés. IX. évf. 2007. 4. szám. pp. 106-116.

Balázs L. Gy. – Kausay T.: Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények. 1. rész: Értelmezés. Vasbetonépítés. X. évf. 2008. 4. szám. pp. 127-135., 2. rész: Vizsgálat. Vasbetonépítés. XI. évf. 2009. 2. szám. pp. 55-65.

Balázs L. Gy. – Kausay T.: Vízzáró beton és vizsgálata. Vasbetonépítés, XII. évf. 2010. 2. szám, pp. 47-57.

Balázs L. Gy. – Kausay T. – Erdélyi A. – Zsigovics I. – Nehme, S. G. – Arany P. – Kopecskó K. – Csányi E.: Cementek felhasználhatósági köre az MSZ 4798-1:2004 környezeti osztályainak megfelelően. Kutatás-fejlesztési tanulmány. Kézirat. BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék. Regisztrációs szám: 37783-003-ÉA/2009. Budapest, 2010. július 31.

Benedix, R.: Bauchemie. Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Auflage. Studium. Vieweg + Teubner GmbH., Wiesbaden, 2008.

Biczók I.: Betonkorrózió, betonvédelem. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1956.

Biczók, I.: Betonkorrosion, Betonschutz. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1960.

Bilgeri, P. – Eickschen, E. – Felsch, K. – Klaus, I. – Vogel, P. – Rendchen, K.: Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton. Beton-Informationen, 2007. No. 2., pp. 15-31.

Bollmann, K. – Lyhs, P.: Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st). Beton-Informationen. 2005. No. 5. pp. 91-100.

Borján J.: Roncsolásmentes betonvizsgálatok. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1981.

Böhme, E. P.: Untersuchungen von natürlichen Gesteinen auf Festigkeit, spezifisches Gewicht, Wasseraufnahme und Abnutzbarkeit. Mittheilungen aus den königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin, 10 (5), 1892. pp. 188-229.

Branco, A. F. – Brito, J.: Handbook of Concrete Bridge Management. American Society of Civil Engineers. 2004.

Brandestini, M.: Hammerevolution. TEC 21. 33-34/2010. pp. 27-29.

Brunauer, S. – Emmett, P. H. – Teller, E.: Absorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society. 1938. Vol. 60. pp. 309.

Buday T.: Beton- és habarcsreceptek. Építésügyi Tájékoztató Központ, Budapest, 2002.

Clifton, J.R.: Predicting the service life of concrete. ACI Material Journal. No. 6. Vol. 90. 1993. pp. 611-617.

DBV Deutscher Beton-Verein: Beton-Handbuch. Leitsätze für Bauüberwachung und Bauausführung. 3. Auflage. Wiesbaden, 1995

Eichler, W-R.: Microsilica in der Anwendung aus der sicht eines Baustoffchemikers. Microsilica in der modernen Betontechnologie. Konferencia kiadvány, Konstanz. pp. 71 – 78. Elkem GmbH., Allensbach, 1991.

Erdélyi A.: Különböző alakú és nagyságú, öntött és fúrt próbatestek nyomószilárdságának átszámítása. Mélyépítéstudományi Szemle. XIX. évf. 1969. 1. szám. pp. 35-41.

Erdélyi A.: „Légpórusrendszer és betontartósság" című fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága" című konferencia kiadványban (szerkesztette: Dr. Balázs György és dr. Balázs L. György), pp. 129-138., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1996

Erdélyi A. – Csányi E. – Kopecskó K. – Borosnyói A. – Fenyvesi O.: Acélszálas betonok tönkremenetele: Fagyasztás – olvasztás és sózás. 1. rész: Tudományos háttér, módszerek összehasonlítása. Vasbetonépítés, IX. évfolyam, 2. szám, pp. 45-55.; 2. rész: Állapotromlás, az eredmények értékelése, következtetések. Vasbetonépítés. 2007. IX. évfolyam, 3. szám, pp. 72-83.

Erdélyi A. – Csányi E. – Kopecskó K. – Borosnyói A. – Fenyvesi O.: „Fagyasztás és sózás hatása acélszálas betonokra" című fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága" című konferencia kiadványban (szerkesztette: Dr. Balázs György és dr. Balázs L. György), pp. 85-102., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2008.

Erdélyi A.: Klorid behatolás mérési módszerek. Kézirat. Fejezet a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken készült „Cementek felhasználhatósági köre az MSZ 4798-1:2004 környezeti osztályainak megfelelően" című innovációs kutatás-fejlesztési tanulmányban. Budapest, 2010.

Erdélyi A.: Az MSZ 4798 megújítási tárgykörébe tartozó CEN-iratok áttekintése. Kézirat. Megrendelő: Magyar Betonszövetség. Budapest, 2011.

Fachhochschule Campus Wien: http://www.fh-campuswien.ac.at/bau@home/bausanierung/daten/4_4.htm, évszám nélkül

Fågerlund, G.: Critical degrees of saturation at freezing of porous and brittle materials. Dissertation. Lunds tekniska högskola. Institutionen för byggnadsteknik, 1973. p. 9.

Gessner, H.: Vorschrift zur Untersuchung von Böden auf Zementgefährlichkeit. Diskussionsbericht. Eidgenössenschaftlichen Materialprüf- und Versuchsanstalt, Nr. 29., Zürich, 1928.

Grübl, P. – Weigler, H. – Karl, S.: Beton. Arten, Herstellung und Eigenschaften. Verlag Ernst & Sohn. Berlin, 2001.

Haag, C. – Gerdes, A. – Wittmann, F. H.: Dauerhaftigkeit eines Stahlbetonbauteils. Ansätze zur ökologischen Bewertung. Tiefbau. 1998. No. 4. pp. 262-264.

Heidelberger Zement Group: Betontechnische Daten. Beton nach DIN EN 206. Heidelberg, 2003 és 2009.

Heusinger, L.: Bauliche Durchbildung, Bauausführung, Qualitätssicherung. Cikk a Bieger, K.-W.: „Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2. Erläuterungen und Anwendungen" című könyv 372-402. oldalán. Springer Verlag. Berlin – Heidelberg – New York, 1993.

Hilsdorf, H. K.: Beton. Fejezet a „Beton-Kalender 1992 Teil I" című könyvben. Verlag Ernst & Sohn. Berlin, 1992.

Hummel, A.: Die Ermittlung der Kornfestigkeit von Ziegelsplitt und anderen Leichtbeton-Zuschlagstoffen. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. 1954. Heft 114.

Iken, H.-W. – Lackner, R. R. – Zimmer, U. P. – Wöhnl, U. – Breit, W.: Handbuch der Betonprüfung. Anleitungen und Beispiele. 6. kiadás. Verlag Bau+Technik. Düsseldorf, 2012.

Jedelhauser, B.: Verwendung von nichtrostendem Stahl (Edelstahl) im Brücken- und Ingenieurbau. Bautechnik. No. 85. 2008. Heft 7. pp. 472-475.

Kalt, H. A.: 50 éves a Schmidt betonvizsgáló kalapács. Építőanyag, 52. évf. 2000. 1. szám. pp. 23-24.

Kausay T.: Kokkolitos betonadalék. Mélyépítéstudományi Szemle. 15. évf. 1965. 12. szám. pp. 573-576.

Kausay T. – Szirmai A.: Konzisztenciamérés betonkeverőgépben. Építőanyag. 31. évf. 1979. 5. szám. pp. 170-178.

Kausay T.: Betonadalékanyagok alkáli reakciója. 2001. Kézirat: http://www.betonopus.hu/notesz/alkali-reakcio/alkali-reakcio.pdf

Kausay T.: A beton nyomószilárdságának elfogadása. Vasbetonépítés. VIII. évf. 2006. 2. szám. pp. 35-44.

Kausay T.: Betonok környezeti osztályai, Beton. XVII. évf. 2009. 7-8. szám, pp. 3-8.

Kanhäuser, R.: Eine „Neue Betonbremse". Zement+Beton. 2003. No. 1. pp. 28-30.

Kopecskó K. – Balázs Gy.: Kloridkötés betonban. 1. rész: A C_3A és C_4AF aluminát klinkerek kloridion megkötő képessége. Vasbetonépítés. VIII. évf. 2006. 4. szám pp. 116-124. 2. rész: A cementkő kloridion megkötő képessége. Vasbetonépítés. X. évf. 2008. pp. 55-64.

Lang, E.: Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalzwiderstand – Labor- und Praxisverhalten. Beton-Informationen. 2003. No. 3., pp. 39-57.

Lohmeyer, G. – Ebeling, K. – Bergmann, H.: Stahlbetonbau. Bemessung – Konstruktion – Ausführung. Vieweg + Teubner Verlag. Wiesbaden, 2010.

Lukács Gy.: A korszerű színmérés problémái. Mérés és Automatika. XIX. évfolyam. 1971. 12. szám. pp. 434-445.

Mohr, R.: Statistik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Expert Verlag. Renningen, 2008.

Nemes R. – Gyömbér Cs.: Könnyűbeton adalékanyagok összehasonlító vizsgálata. TDK dolgozat. Konzulens: Józsa Zs. BME Építőanyag és Mérnökgeológia Tanszék, 2001. október)

Owen, D. B.: Handbook of statistical tables. Addison-Wesley Publishing Company. Reading Massachusetts, Palo alto. London, 1962.

Palotás L.: Építőanyagok. II. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1961.

Palotás L.: Mérnöki szerkezetek anyagtana 1. kötet. Általános anyagismeret. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Palotás L. – Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. kötet. Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Powers, T. C. – Helmuth, R. A.: Theory of Volume Changes in Hardened Pordland Cement Paste during Freezing, Proc. Highway Research Board 32, pp. 285, 1953.

Proceq SA: Betonprüfhammer N/NR, L/LR und Digi Schmidt ND/LD Rückprallmessungen und Karbonatisierung. Info. Schwerzenbach (Svájc), 2003.

Proceq SA: SilverSchmidt. Bedienungsanleitung. Betonprüfhammer. Schwerzenbach (Svájc), 2007.

Proceq SA: SilverSchmidt. Bedienungsanleitung. Schwerzenbach (Svájc), 2011.

Rendchen, K.: Hüttensandhaltiger Zement. Verlag Bau+Technik. Düsseldorf, 2002.

Révay M.: Kis magyar cementkémia. Taumazit. Beton. 9. évf. 2001. 6. szám, pp. 6-7.

Révay M.: Kis magyar cementkémia. (Martin-salak.) Beton. 9. évf. 2001. 7-8. szám. pp. 7-9.

Révay M.: A taumazit-kérdés Magyarországon. Beton. 13. évf. 2005. 1. szám. pp. 3-6.

Röhling, S. – Eifert, H. – Jablinski, M.: Betonbau. Band 1. Zusammensetzung, Dauerhaftigkeit, Frischbeton. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2012.

Schmidt, E. O.: Der Beton-Prüfhammer. Ein Gerät zur Bestimmung der Qualität des Betons im Bauwerk Schweizerische Bauzeitung. Zürich. Jg. 68. Nr. 28. 1950. Juli. pp. 378-379.

Schmidt, E. O.: Versuche mit dem neuen Beton-Prüfhammer zur Qualitätsbestimmung des Betons. Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik 1951. No. 5. pp. 139-173.

Schmidt, E. O.: Apparatus for testing the surface hardness of construction materials. Filed May 29, 1951. Patent US 2,664,743. Jan. 5. 1954.

Seim, W.: Bewertung und Verstärkung von Stahlbetontragwerken. Verlag Ernst & Sohn. Berlin, 2007.

Setzer, M. J.: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonwaren. Universität GH Essen, Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen, 1990. Nr. 49.

Setzer, M. J.: CIF Test – Testmethode zur Bestimmung des Frostwiderstands von Beton (CIF) – RILEM Recommendation TC 117-FDC: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Referenze method and alternative methods A and B. Materials and Structures. Vol. 37. 2004. pp. 743-753.

Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag GmbH. Berlin, 2007.

Stange, K. – Henning, H.-J.: Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg/New York, 1966.

Szabó J.: Az európai és a nemzetközi szabványosítás folyamatai. Anyagvizsgálók Lapja. 2006. 1. szám, pp. 1-3.

Szalai K. (szerkesztő): A beton minőségellenőrzése. A Magyar Szabványügyi Hivatal szabványosítási szakkönyvtárának 26. számú kötete. Szabványkiadó, Budapest, 1982.

Szilágyi K. – Borosnyói A.: A Schmidt-kalapács 50 éve: Múlt, jelen, jövő. Vasbetonépítés. X. évf. 2008. 1. rész: Módszerek és szakirodalmi összefoglalás. 1. szám. pp. 10-17. 2. rész: Az európai szabványosítás és annak hazai jelentősége. 2. szám. pp. 48-54., 3. rész: Tudományos megfontolások és kitekintés. 3. szám. pp. 73-82.

SZTE-ÉTE konferencia kiadvány: A magyar perlit 40 éve. 1998.

Taerwe, L.: A General Basis for the Selection of Compliance Criteria. IABSE Periodica. Proceedings P-102/86. pp. 113-127. ETH-Hönggerberg, Zürich 3/1986 August.

Ujhelyi J.: Beton-ismeretek. Műegyetemi kiadó. Budapest, 2005.

Vendl A.: Geológia. I. kötet. Tankönyvkiadó. Budapest, 1953.

VÖZ Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie: Zement und Beton. 25. Auflage. VÖZ und Österreichischer Betonvereins. Wien, 1991

Weber, P.: Pigmente zur Betoneinfärbung. BFT International, Betonwerk + Fertigteil-Technik. 2006. No. 7. pp., illetve Gestalten mit farbigem Sichtbeton, Planung und Herstellung. Sonderdruck aus der Zeitschrift Beton. 2007. Jahrgang 57. No. 5.

Weber, R.: Guter Beton. Ratschläge für die richtige Betonherstellung. 23. kiadás. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf, 2010.
Weiss (Weisz) Gy.: Építőipari laboratóriumi méréstechnika és műszerismeret. II. kötet. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1974.
Wesche, K.: Baustoffe für tragende Bauteile. Band 2. Beton, Mauerwerk. Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin, 1993.
Wittmann, F. H.: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung. Teil 3. Expert Verlag. Ehningen bei Böblingen, 1993.
Wöhnl, U.: Bewertung der Bauwerksdruckfestigkeit nach DIN EN 13791. Beton. Jg. 59. 2009. Nr. 4. pp. 130-137.

Ön a könyv eredeti kéziratát látta, amely a 2013 utáni változásokat nem tartalmazza.

Nyomtatás és a kötészet készült a Mesterprint Kft-ben (13-0344).
Felelős vezető: Szita Lajos ügyvezetző igazgató.